

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

EFEKTIVNÍ ŘÍZENÍ TECHNOLOGIÍ BUDOV S DŮRAZEM NA MĚŘENÍ VLHKOSTI A KONCENTRACE CO₂

EFFECTIVE MANAGEMENT OF BUILDING TECHNOLOGIES WITH A FOCUS ON MEASURING HUMIDITY
AND CO₂ CONCENTRATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ondřej Bučko

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Daniel Janík

BRNO 2021

Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Bc. Ondřej Bučko

ID: 183282

Ročník: 2

Akademický rok: 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

**Efektivní řízení technologií budov s důrazem na měření vlhkosti a koncentrace
CO₂**

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznámení se se systémem TECOMAT FOXTROT
2. Rešerše automatizovaných měření vlhkosti a CO₂
3. Sestavení a zprovoznění měřicího přípravku
4. Vizualizace a interpretace dat online
5. Diskuze možností použití měření pro snížení energetické náročnosti budov

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího diplomové práce

Termín zadání: 8.2.2021

Termín odevzdání: 24.5.2021

Vedoucí práce: Ing. Daniel Janík

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Diplomová práca sa zaoberá automatizovaným meraním vlhkosti a koncentrácie CO₂ vnútri budov, ktorého výsledky tvoria vstupné parametre pre efektívne riadenie technológií znižujúcich energetickú náročnosť budov. V úvode je približená problematika kvality vnútorného ovzdušia budov a ukazovatele charakterizujúce túto kvalitu. Praktickú časť práce tvorí zhotovenie meracieho prípravku, ktorý obsahuje dva prototypy snímačov poskytnuté spoločnosťou Teco a.s. s online prístupom k nameraným dátam. Meranie relatívnej vlhkosti, koncentrácie CO₂ a teploty vo vnútorných priestoroch budovy s hotovým prípravkom je porovnané s komerčne dostupnými zariadeniami na meranie vybraných parametrov. Pre jednoznačnú interpretáciu online dát je pre snímací prípravok nakonfigurovaný virtuálny počítač s online databázou. Záverečná diskusia je venovaná možnostiam využitia vyhotoveného snímacieho prípravku pre dosiahnutie zníženia energetickej náročnosti budov.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ

kvalita vnútorného ovzdušia, relatívna vlhkosť, oxid uhličitý, Foxtrot, Mosaic, snímač, Google cloud, vizualizácia dát online, MQTT, Eclipse Mosquitto, PLC, PostgreSQL, Grafana, zníženie energetickej náročnosti budov, efektívne riadenie technológií budov

ABSTRACT

The diploma thesis deals with automated measurement of humidity and CO₂ concentration inside buildings. Results of this measurement form the input parameters for the effective management of technologies reducing the energy performance of buildings. In the introduction, the issue of indoor air quality of buildings and indicators characterizing this quality are approached. The technical part of the thesis consists of making a measuring device which contains two prototype sensors provided by Teco Inc. with online access to measured data. The measurement of relative humidity, CO₂ concentration and temperature in the interior of the building with the made device is compared with commercially available devices for measuring selected parameters. For unambiguous interpretation of online data, the virtual machine with an online database is configured for the created measuring device. The possibilities of using the prepared measuring device to achieve a reduction in the energy performance of buildings are discussed in the final part.

KEYWORDS

indoor air quality, relative humidity, carbon dioxide, Foxtrot, Mosaic, sensor, Google cloud, online data visualization, MQTT, Eclipse Mosquitto, PLC, PostgreSQL, Grafana, reduction of performance of buildings, effective management of building technologies

BUČKO, Ondrej. *Efektivní řízení technologií budov s důrazem na měření vlhkosti a koncentrace CO₂*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky, 2021, 79 s. Diplomová práce. Vedúci práce: Ing. Daniel Janík

Vyhlásenie autora o pôvodnosti diela

Meno a priezvisko autora: Bc. Ondrej Bučko

VUT ID autora: 183282

Typ práce: Diplomová práce

Akademický rok: 2020/21

Téma závěrečné práce: Efektivní řízení technologií budov s důrazem na měření vlhkosti a koncentrace CO₂

Vyhlasujem, že svoju záverečnú prácu som vypracoval samostatne pod vedením vedúcej/cého záverečnej práce, s využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej záverečnej práce ďalej vyhlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto záverečnej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona Českej republiky č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávnych dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka Českej republiky č. 40/2009 Sb.

Brno
.....
podpis autora*

*Autor podpisuje iba v tlačenej verzii.

POĎAKOVANIE

Predovšetkým sa chcem poďakovať vedúcemu diplomovej práce Ing. Danielovi Janíkovi za odborné vedenie, konzultácie, pripomienky, návrhy k práci a takisto za trpezlivosť a ochotný prístup.

Ďalej by som chcel poďakovať pánovi Ing. Michalovi Mrázekovi zo spoločnosti Teco a.s., ktorý mi pomohol pri riešení problémov a nejasností vzniknutých pri realizácii tejto práce. Srdečná vďaka patrí aj mojej rodine za podporu počas celej doby štúdia.

Obsah

Úvod	11
1 Ciele práce	12
2 Kvalita vnútorného ovzdušia	13
2.1 Syndróm nezdravých budov	13
2.2 Ovzdušie vo vnútornom prostredí budov	14
2.3 Hodnotenie vnútorného prostredia budov	14
2.4 Výmena vzduchu - intenzita vetrania	16
3 Relatívna vlhkosť	18
3.1 Vplyv relatívnej vlhkosti vnútorného ovzdušia na ľudské zdravie . . .	18
3.1.1 Nezdravá úroveň relatívnej vlhkosti	18
3.2 Relatívna vlhkosť vzduchu vo vnútri budov	19
3.3 Dôsledky zvýšenej relatívnej vlhkosti vzduchu	20
3.4 Syndróm suchého oka	20
3.5 Meranie relatívnej vlhkosti	20
3.5.1 Hygrometrická metóda	21
3.5.2 Gravimetrická (váhová) metóda	22
3.5.3 Psychometrická metóda	23
3.5.4 Kondenzačná metóda	23
4 Oxid Uhličitý	25
4.1 Vznik oxidu uhličitého vo vnútri budov	25
4.2 Pettenkoferovo kritérium	26
4.3 Využitie oxidu uhličitého	26
4.4 Vplyv oxidu uhličitého na zdravie	27
4.5 Meranie oxidu uhličitého	28
4.5.1 Metódy merania oxidu uhličitého	28
5 Systém Foxtrot	31
5.1 Centrálna riadiaca jednotka	31
5.2 Základné moduly systému Foxtrot	32
5.2.1 CP-1000	33
6 Mosaic	35

7	Zostavenie a sprevádzkovanie meracieho prípravku	36
7.1	Použitý snímač	36
7.1.1	C-RQ-0600R-CHT	36
7.1.2	Porovnanie použitých snímačov s inými prístrojmi	38
7.2	Merací prípravok	40
7.2.1	Schémy zapojenia jednotlivých krabičiek	41
8	Vizualizácia a interpretácia dát online	43
8.1	Google cloud	44
8.1.1	Virtuálny počítač	44
8.2	Komunikačný protokol MQTT	45
8.2.1	Spôsob prenosu a delenia správ	46
8.2.2	MQTT Broker	46
8.2.3	Kvalita služieb prenášaných správ	47
8.3	Databáza PostgreSQL	48
8.3.1	Ukladanie dát	49
8.4	Webová aplikácia Grafana	51
9	Možnosti použitia pre zníženie energetickej náročnosti budov	53
9.1	Osvetľovacie systémy	53
9.2	Systémy HVAC	54
9.2.1	Vzduchotechnika a klimatizácia	55
9.2.2	Vytápanie a rekuperácia	56
9.3	Automatické tienenie okien	58
9.4	Hospodárske a poľnohospodárske budovy	58
9.5	Vnútorne športoviská	59
	Záver	61
	Literatúra	63
	Zoznam symbolov a skratiek	73
A	Namerané hodnoty snímačov a prístroja Testo 535 CO₂	76
B	Namerané hodnoty snímačov a meteostanice Netatmo	77
C	Obsah elektronickej prílohy	79

Zoznam obrázkov

2.1	Ukážka krivky nameraných hodnôt CO ₂ a ich regresie. [11]	17
3.1	Dilatačný (vlasový) vlhkomer. [24]	21
3.2	Odporový vlhkomer. [24]	22
3.3	Princíp psychometrickej metódy. [24]	23
3.4	Kondenzačný vlhkomer. [24]	24
4.1	Schéma IR metódy [35].	28
4.2	Princíp metódy s polovodičom [35].	29
4.3	Schéma elektrochemickej metódy [35].	30
5.1	Cyklus programovateľného automatu [38].	32
5.2	Základný modul CP-1000. [41]	34
7.1	Schéma zapojenia komunikačného modulu C-RQ-0600S a interiérovej časti so senzormi [43].	37
7.2	Zostavenie krabičiek: a) väčšia krabička s PLC; b) menšia krabička.	41
7.3	Schémy zapojenia: a) väčšej krabičky; b) menšej krabičky.	42
8.1	Diagram navrhnutého systému.	43
8.2	Vytvorenie virtuálneho počítača v Google Cloud.	44
8.3	Povolenie jednotlivých portov pre vzdialený prístup k programom.	45
8.4	Ukladanie nameraných dát do databázy PostgreSQL.	49
8.5	Zobrazenie prijímaných nameraných dát na server vo formáte JSON.	50
8.6	Ukážka webovej aplikácie Grafana.	51
8.7	Nastavenie zdroja dát (v tomto prípade pre koncentráciu CO ₂).	52
9.1	Základná schéma systému HVAC [63].	55
9.2	Znázornenie komfortnej zóny podľa normy ASHRAE Standard 55 [64].	56
9.3	Schéma princípu rekuperačného výmenníka [67].	57

Zoznam tabuliek

2.1	Klasifikácia kvality vnútorného ovzdušia podľa normy ČSN EN 16798-3	15
4.1	Množstvo vyprodukovaného oxidu uhličitého v závislosti od činnosti človeka a zdroja dát	26
4.2	Vplyv koncentrácie CO ₂ na ľudský organizmus [1].	27
5.1	Prehľad základných modulov Foxtrot vrátane zjednodušeného prehľadu vstupov a výstupov	32
7.1	Porovnané namerané hodnoty snímačov a prístroja Testo 535 CO ₂ . . .	39
7.2	Porovnané namerané hodnoty snímačov a meteostanice Netatmo. . .	39
A.1	Porovnané namerané hodnoty snímačov a prístroja Testo 535 CO ₂ . . .	76
B.1	Porovnané namerané hodnoty snímačov a meteostanice Netatmo. . .	77
B.2	Porovnané namerané hodnoty snímačov a meteostanice Netatmo. . .	78

Úvod

Spôsob života a trávenia času ľudí sa prispôsobuje moderným technológiám a preto sa čoraz viac a viac obyvateľstva zeme zdržiava vo vnútorných priestoroch budov (školy, kancelárie, športové haly alebo obytné priestory). Vzduch vnútri týchto objektov je ovplyvnený nielen faktormi pôsobiacimi zvnútra, ale aj kvalitou vonkajšieho vzduchu.

Snahou znížiť energetickú náročnosť budov dochádza k zamedzeniu infiltrácií vonkajšieho vzduchu do vnútorného prostredia. Z dôvodu používania stavebných prvkov so stále lepšími izolačnými vlastnosťami (plastové okná, zateplovacie materiály a pod.) je zabránené vetraniu, ktoré prebiehalo prirodzene tak, ako to bolo v prípade horšie tesnených obálok budov. Vo vnútornom ovzduší tak dochádza k nárastu nežiadúcich látok, čo môže mať dopad na fyzické zdravie a duševnú pohodu ľudí. Preto je veľmi dôležité dbať na celkovú kvalitu vnútorného prostredia.

Dôsledkom modernizovania budov sú vetracie systémy usporiadané na určitý počet osôb v danej miestnosti, prípadne na časový harmonogram vetrania. Takýto spôsob nie je príliš efektívny v prípade nečakaného zvýšenia počtu osôb v miestnosti. Niektoré budovy nemôžu mať ventilačné systémy a preto sa vetranie musí vykonávať ručným otvorením okna. Informácia o tom, ako dlho a kedy sa má vetrať, je len subjektívny pohľad danej osoby. Z tohto dôvodu sa umiestňujú do budov snímače, ktoré merajú parametre ovplyvňujúce vnútorné ovzdušie, ako sú napríklad oxid uhličitý (CO_2), relatívna vlhkosť a teplota.

Tieto snímače je možné použiť spolu s technológiami vo vnútri budov, ako sú napríklad osvetľovacie systémy, vzduchotechnika alebo systémy pre otváranie okien a dverí. Vďaka týmto kombináciám sa môže znížiť energetická náročnosť budov. V neposlednom rade sa vytvoria predpoklady na vhodné prostredie pre ľudí v rôznych stavebných objektoch.

1 Ciele práce

Cielom diplomovej práce je zhotovenie meracieho prípravku slúžiaceho pre efektívne riadenie technológií budov s dôrazom na meranie relatívnej vlhkosti a koncentrácie CO₂. So stavbou meracieho prípravku je spojený aj výber komponentov, medzi ktoré patria hlavne programovateľný logický automat (PLC) a dva prototypy snímačov poskytnutých spoločnosťou Teco a.s., ktoré zatiaľ nie sú bežne dostupné na danom trhu. V nadväznosti na zhotovenie meracieho prípravku je žiadúce overiť funkčnosť a správnosť merania senzorov umiestnených na zariadení a preto je meranie vybraných ukazovateľov kvality ovzdušia uskutočnené nielen pomocou prototypov snímačov na prípravku, ale aj pomocou komerčne dostupnej meteorostanice a meracieho prístroja.

Táto diplomová práca je rozdelená na dve časti. Prvá časť práce je teoretická a zaoberá sa problematikou kvality vnútorného ovzdušia a popisuje dva hlavné parametre (relatívnu vlhkosť a oxid uhličitý), ktoré majú značný vplyv na kvalitu vnútorného ovzdušia. Ďalej je v krátkosti popísaný použitý hardvér (PLC - systém Foxtrot) a softvér (Mosaic) slúžiaci na programovanie daného PLC.

Druhá časť tejto diplomovej práce je praktická a zaoberá sa zostavením a uvedením meracieho prípravku do prevádzky. Po popísaní zhotovenia mechanickej časti prípravku je ďalej uvedený spôsob konfigurácie a programovania vybraných senzorov pre správne zaznamenávanie požadovaných veličín.

Pre docielenie automatizovaného merania bolo navrhnuté riešenie odosielania nameraných dát prostredníctvom rozhrania Eclipse Mosquitto a ich ukladania do databázy PostgreSQL na serveri od spoločnosti Google. Posledným krokom merania bolo vytvorenie vizualizácie a interpretácie dát pre užívateľov z online úložiska.

V závere tejto diplomovej práce sú popísané možnosti použitia daných snímačov v praxi a s tým spojeného merania na dosiahnutie zníženia energetickej náročnosti budov. Uvedenými aplikáciami je možné dosiahnuť nižších nákladov na prevádzku a údržbu budov, prípadne nižších emisií CO₂ budov.

2 Kvalita vnútorného ovzdušia

Zmeny v stavebných predpisoch na zlepšenie energetickej účinnosti budov za posledné desaťročia viedli k tomu, že moderné budovy sú viac vzduchotesné ako staršie budovy. Tieto zlepšenia speli na jednej strane k vytvoreniu budov s nižšími prevádzkovými nákladmi ale na druhej strane vytvorili vnútorné prostredie, v ktorom je možné ľahko produkovať látky znečisťujúce ovzdušie a vytvárať ich v oveľa vyšších koncentráciách.

Kvalita ovzdušia v interiéri závisí predovšetkým na kvalite ovzdušia v exteriéri, pretože pri vetraní dochádza k privádzaniu vzduchu z exteriéru do interiéru. Vetráním sa odvádzajú škodlivé látky z vnútorného prostredia ale taktiež sa do budovy privádzajú škodlivé látky vzniknuté vo vonkajšom ovzduší.

Kvalitu ovzdušia definuje zákon a ďalej ju špecifikujú rôzne vyhlášky. Mieru kvality stanovuje každá krajina individuálne, v Českej republike ju definuje vyhláška č. 20/2012 Zbierka zákonov, ktorá určuje oxid uhličitý ako ukazovateľ kvality ovzdušia [1]. Táto vyhláška okrem iného zahŕňa odporúčanú hodnotu koncentrácie CO₂ vo vnútornom prostredí.

2.1 Syndróm nezdravých budov

Na kvalitu vnútorného ovzdušia môže mať vplyv tzv. syndróm nezdravých budov (SBS). Tento pojem je používaný pre nešpecifikované symptómy súvisiace s pobytom vo vnútornom priestore budov. Na obyvateľoch, ktorí trávajú väčšinu času v interiéri sa prejavujú rôzne symptómy ako podráždenie očí, krku, nosa, bolesti hlavy, únava, alergia, suchá pokožka a podobne [2].

Ak vyššie uvedené príznaky pociťuje viac ako 20 % obyvateľov po dobu minimálne dvoch týždňov, potom je daná budova označená ako nezdravá [2].

Stanovenie znečisťujúcich látok zodpovedných za syndróm nezdravých budov je veľmi náročné, hlavne z dôvodu nedostačujúceho monitorovania kvality vnútorného ovzdušia. Preto je ťažké definovať potrebné opatrenia zamedzujúce vytváraniu škodlivých látok vo vnútornom ovzduší. Pre určenie správnych opatrení je dôležité použiť na monitorovanie kvality vnútorného ovzdušia vhodné a presné senzory.

Príčiny vzniku SBS súvisia hlavne s novými konštrukciami budov a zatepľovaním budov alebo s používaním plastových okien. Ako už bolo spomenuté, týmito stavebnými úpravami sú znížené prevádzkové náklady budov vďaka lepšej izolácii je zabránené infiltrácii vzduchu z vonkajšieho prostredia. Okrem toho prispievajú k znečisťovaniu vnútorného ovzdušia aj technológie (napr. počítače), koberce alebo vetracie systémy, ktoré je potrebné pravidelne čistiť.

V roku 1983 bol v USA vykonaný výskum odborníkmi z NIOSH, kde bolo otestovaných 203 budov. Výsledky preukázali, že hlavnou príčinou SBS je nedostatočné vetranie, ktoré tvorilo 48 % celkového znečistenia budov [2].

2.2 Ovzdušie vo vnútornom prostredí budov

Vo vnútornom prostredí budov trávajú ľudia najviac času (približne 90 % svojho času), preto má toto prostredie významný vplyv na naše fyzické zdravie. Kombinácia vnútorných zdrojov a škodlivých látok z vonkajšieho ovzdušia môže viesť k znižovaniu kvality vnútorného prostredia. Dôležitú úlohu zohrávajú faktory vo vnútornom prostredí, ktoré môžu viesť k vzniku plesní, alergénov, čo spôsobuje zdravotné riziko pre osoby, ktoré sa v takomto prostredí nachádzajú [3]. Faktory, ktoré ovplyvňujú kvalitu ovzdušia vo vnútornom prostredí budov sú [4]:

- biologické (baktérie, plesne, roztoče, vírusy, prach, ...),
- chemické (oxid uhličitý, oxid uhoľnatý, anorganické a organické škodlivé látky, dym spôsobený fajčením ...),
- fyzikálne (vlhkosť, teplota, hluk, prúdenie vzduchu).

Kvalita vnútorného ovzdušia je závislá na [5]:

- kvalite vonkajšieho ovzdušia,
- výmene vzduchu,
- množstve znečisťujúcich látok v ovzduší (zdrojom môžu byť: ľudia, zvieratá, rastliny, stavebný materiál, upratovanie, údržba a čistenie budov, ...),
- objeme vzduchu pripadajúcom na 1 osobu v danej miestnosti.

Dostatočným vetraním alebo výmenou vzduchu v pravidelných časových intervaloch dochádza k zvyšovaniu kvality ovzdušia vo vnútorných priestoroch budov. Vetranie možno rozdeliť na 2 základné typy:

- prirodzené vetranie (infiltrácia – prenikanie vzduchu otvorenými oknami alebo nedostatočnou izoláciou budovy),
- mechanické (nútené) vetranie (využívanie ventilátorov, kt. zabezpečujú odvod alebo prívod vzduchu – v prípade len jedného z toho je potrebné použiť aj prirodzené vetranie [6]).

2.3 Hodnotenie vnútorného prostredia budov

V dôsledku nedostačujúceho vetrania môže dôjsť k poškodzovaniu zdravia osôb, ktoré sa nachádzajú v nevetranom priestore. Podľa vyhlášky, ktorá je určená pre ČR slúži CO₂ ako ukazovateľ znečistenia vnútorného prostredia, ktorého koncentrácia v ovzduší vo vnútornom prostredí nesmie prekročiť hodnotu 1500 ppm. Ďalej táto

vyhláška definuje minimálnu intenzitu vetrania, ktorej hodnota je $0,5 \text{ h}^{-1}$ pre obytnú miestnosť a minimálnu intenzitu vymieňaného vonkajšieho vzduchu na hodnotu $25 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ pre jednu osobu [1]. Z rôznych noriem možno zistiť, že hodnoty sa líšia predovšetkým v limitoch a v odporúčaných hodnotách týkajúcich sa podmienok pre vnútorné prostredie budov.

Požiadavky na čerstvý vzduch sú dané emisiami, ktoré sú vyprodukované budovou a zariadeniami v nej. Energetickú náročnosť budov popisuje norma ČSN EN 16798-3, ktorá definuje 4 kategórie kvality ovzdušia vo vnútornom prostredí budov (IDA 1, IDA2, IDA3 a IDA 4) na základe porovnania koncentrácie CO_2 vo vnútornom a vo vonkajšom prostredí [7].

Pre každú túto kategóriu kvality ovzdušia sú definované odporúčané hodnoty intenzity výmeny vzduchu. V nefajčiarskej oblasti sa pohybujú od $22 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ a v oblasti, ktorá je určená pre fajčiarov od $43,2 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ na jednu osobu [8]. Jednotlivé kategórie sú zapísané v Tab. 2.1 a k nim pripadajúce potrebné množstvo privádzaného čerstvého vzduchu, ktoré pripadá na jednu osobu. Čím väčšie bude množstvo privádzaného čerstvého vzduchu, tým bude kvalitnejší vzduch v miestnosti.

Tab. 2.1: Klasifikácia kvality vnútorného ovzdušia podľa normy ČSN EN 16798-3.

Kategória	Kvalita vnútorného ovzdušia	Koncentrácia CO_2 nad koncentráciou vo vonkajšom vzduchu [ppm]		Množstvo privádzaného vzduchu [$\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{osoba}$]	
		Interval	Implicitná hodnota	Fajčiarska oblasť	Nefajčiarska oblasť
IDA 1	vysoká	< 400	350	> 54	> 108
IDA 2	stredná	400 – 600	500	36 – 54	72 – 108
IDA 3	mierna	600 – 1000	800	22 – 36	43,2 – 72
IDA 4	nízka	> 1000	1200	< 22	< 43,2

Spomínaná norma (ČSN EN 16798-3) definuje množstvo privádzaného vzduchu len pre dospelú osobu, preto táto norma nedefinuje hodnoty pre žiakov v školských zariadeniach. Množstvo privádzaného vzduchu pre žiakov v školských zariadeniach definuje norma ČSN EN 15251, ktorá zohľadňuje aj produkované škodlivé látky samotnou budovou. Táto norma definuje množstvo privádzaného vzduchu na hodnoty [8]:

- $35 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ – pre deti v predškolských zariadeniach,
- $30 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ – pre žiakov v školských zariadeniach.

Záväzná je však vyhláška č. 20/2012 Zbierka zákonov, ktorá definuje množstvo privádzaného vzduchu do triedy na hodnotu v rozmedzí $20 - 30 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ pre jedného

žiaka. Táto vyhláška platí pre Českú republiku.

2.4 Výmena vzduchu - intenzita vetrania

Z kvantitatívneho hľadiska možno vyjadriť, aký objem vzduchu sa dostáva do miestnosti a aký podiel miestnosti sa vyvetral. Z tohto dôvodu boli definované dve veličiny:

1. intenzita vetrania,
2. intenzita výmeny vzduchu.

Intenzita vetrania – veličina, ktorá udáva, koľkokrát za danú hodinu je znečistený vzduch v miestnosti vymenený za čerstvý. Vypočíta sa ako podiel prietoku čerstvého vzduchu z vonkajšieho prostredia, ktorý prúdi do miestnosti, ku objemu danej miestnosti [9]. Pre výpočet tejto veličiny možno použiť rovnicu

$$n = \frac{Q}{V}, \quad (2.1)$$

kde:

- n - intenzita vetrania [h^{-1}] (v iných literatúrach označovaná aj ako λ),
- Q - intenzita výmeny vzduchu [$m^3 h^{-1}$],
- V - objem miestnosti [m^3].

Intenzita výmeny vzduchu – veličina, vyjadrujúca koľkokrát dôjde k výmene vzduchu v miestnosti za jednu hodinu. Je to podiel prietoku vzduchu vstupujúceho do miestnosti ku objemu danej miestnosti. Pre jej výpočet je možné použiť rovnicu hmotnostnej bilancie [10], ktorá je

$$V \frac{dC_i(t)}{dt} = -(C_i - C_a)Q + E, \quad (2.2)$$

kde:

- V - objem miestnosti [m^3],
- C_i - koncentrácia plynu vo vnútornom vzduchu [$kg m^{-3}$],
- t - čas [h],
- C_a - koncentrácia plynu v okolitom vzduchu [$kg m^{-3}$],
- Q - intenzita výmeny vzduchu [$m^3 h^{-1}$],
- E - množstvo vyprodukovaných emisií [$kg m^{-3}$].

Podelením oboch strán rovnice (2.2) objemom miestnosti V získame diferenciálnu rovnicu, ktorá popisuje zmenu koncentrácie plynu v danej miestnosti za určitý čas [10]. Nahradením podielu $\frac{Q}{V}$ intenzitou vetrania n dostaneme:

$$\frac{dC_i(t)}{dt} = -(C_i - C_a)n + \frac{E}{V}. \quad (2.3)$$

V prípade, ak predpokladáme konštantné homogénne zmiešanie, tak potom zmena koncentrácie plynu je úmerná rozdielu koncentrácie medzi vnútorným a vonkajším

vzduchom ($C_i - C_a$) v čase t , intenzite vetrania n a množstve vyprodukovaných emisií E [10].

Integráciou diferenciálnej rovnice dostaneme exponenciálnu funkciu s počiatočnou podmienkou v čase 0 (C_0) a intenzitu vetrania n v exponente

$$C_i(t) = -(C_0 - C_a)e^{-nt} + C_a + \frac{E}{nV}(1 - e^{-nt}). \quad (2.4)$$

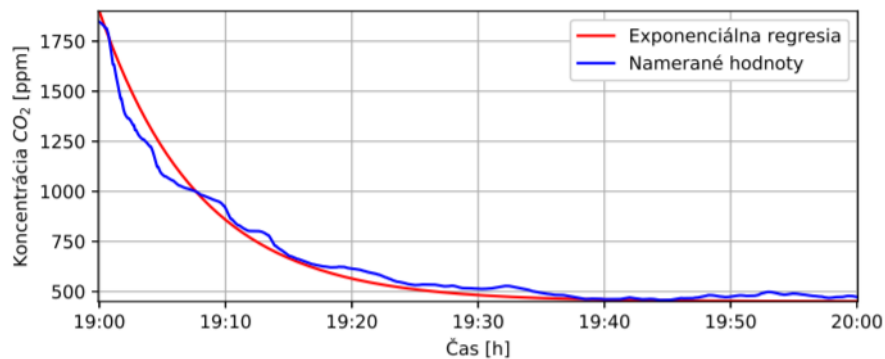
Ak sa v miestnosti nenachádza žiaden zdroj emisií ($E=0$) a počiatočná koncentrácia plynu je nenulová, získame vzťah popisujúci odstraňovanie plynu z miestnosti

$$C(t) = -(C_0 - C_a)e^{-nt} + C_a, \quad (2.5)$$

kde:

C - koncentrácia plynu v čase t [m^3].

Rovnicou (2.5) sa vypočíta krivka poklesu, ktorá začína v bode počiatočnej koncentrácie C_0 a exponenciálne klesá až do bodu koncentrácie v okolitom vzduchu C_a [10]. Parametre ako vonkajšia a počiatočná koncentrácia je možné ľahko odmerať a intenzitu vetrania sa dá vypočítať pomocou exponenciálnej regresie. Aproximovaná krivka musí čo najlepšie opisovať krivku nameraných hodnôt CO_2 a je znázornená na Obr. 2.1



Obr. 2.1: Ukážka krivky nameraných hodnôt CO_2 a ich regresie. [11]

3 Relatívna vlhkosť

Pri určitom množstve sa považuje vodná para za škodlivú látku. Ma negatívny vplyv na človeka i na stavebný materiál budovy (vznik plesní). Z tohto pohľadu sa sleduje tzv. relatívna vlhkosť a vyjadruje stupeň nasýtenia vzduchu vodnou parou. Vyjadruje sa v percentách pri určitej teplote vzduchu.

Nadmerná vlhkosť v miestnosti sa odvádza vetraním. Pri nedostatočnom vetraní je potrebné vzduch zvlhčiť vhodným vzduchotechnickým zariadením. Je dokázané, že pri hodnote vlhkosti nižšej ako 30 % sa zvyšuje tvorba prachu a vysušuje sa sliznica dýchacích ciest [12].

3.1 Vplyv relatívnej vlhkosti vnútorného ovzdušia na ľudské zdravie

Vlhkosť ovplyvňuje kvalitu vnútorného ovzdušia a patrí medzi jeden z najrizikovejších faktorov. Mnohé zdravotné problémy v obytných priestoroch sú spôsobené nadmernou relatívnou vlhkosťou vzduchu zapríčinenou obalovými konštrukciami budov. Preto je potrebné zohľadňovať kvalitu stavebných materiálov z aspektu ich vodotesnosti s väzbou na tepelný odpor.

Podľa normy ASHRAE [13] by sa mala relatívna vlhkosť vzduchu v obytných priestoroch pohybovať v rozmedzí od 30 % – 60 %. Nízke hodnoty vlhkosti vo vnútornom prostredí môžu spôsobovať suchosť pokožky, úst, hrdla ale tiež podráždiť sliznicu, spôsobiť podráždenie očí, bronchitídu, astmu a chrípku. Vysoké hodnoty vlhkosti v interiéri podporujú rast plesní, roztočov, čo vedie k zhoršeniu respiračných ťažkostí a alergií [14].

Vlhké ovzdušie vo vnútri budov spôsobuje rast plesní, ktoré sa reprodukovujú vytváraním spór. Tieto sa nachádzajú vo vnútornom i vonkajšom ovzduší a usadzujú sa na povrchu rôznych materiálov.

3.1.1 Nezdravá úroveň relatívnej vlhkosti

Existuje mnoho problémov súvisiacich s vlhkosťou. Počas projektovania budov boli tieto problémy väčšinou prehliadané, a to aj napriek požiadavkám na ventiláciu. V tejto súvislosti sa uvádza, že relatívna vlhkosť a látky s ňou súvisiace prispievajú k alergickým a respiračným ochoreniam [15]. Zistilo sa, že vystavenie plesniam má významné účinky na rozvoj astmy a respiračných symptómov [16].

V článku [17] sú zhrnuté výsledky súvisiace s vlhkosťou pre rôzne štúdie. Zistilo sa, že pre rast plesní bola stanovená kritická relatívna vlhkosť pri teplote prostredia

22 °C v rozmedzí od 75 – 95 %, v závislosti na rôznych materiáloch (napr. pre drevoteskové dosky to bolo 80 %, sadrokartonové dosky 85 %, keramické materiály to bolo viac ako 90 % a pre cementové steny to bolo 95 %). Pre rast prachových roztočov sa pohybuje relatívna vlhkosť medzi 50 – 75 % pri teplote prostredia 15 – 35 °C. Pri rýchlom zvýšení relatívnej vlhkosti (z 50 % na 80 %) sa koncentrácia emisií prchavých organických zlúčenín (VOC) zvýšila 1 – 32 násobne.

Zistilo sa, že intenzita vetrania má veľký vplyv na zdravie človeka. Vlhkosť vzduchu v interiéri sa znižuje zvyšovaním intenzity vetrania, čo vedie k znižovaniu zdravotných rizík spôsobených plesňami, vlhkosťou alebo roztočmi [18]. Ďalšie štúdie poukazujú na opačné zistenia, napríklad že vlhkosť v miestnosti sa zvyšuje so zvyšujúcou intenzitou vetrania [19].

Dospelo sa k záveru, že úroveň vlhkosti závisí vo veľkej miere na polohe, kde sa daný objekt (budova) nachádza, aké sú tam poveternostné podmienky a podobne.

3.2 Relatívna vlhkosť vzduchu vo vnútri budov

Ako už bolo spomenuté vo vzduchu sú prítomné vodné pary, ktoré majú veľký význam pre vznik a priebeh rôznych klimatických dejov. Relatívna vlhkosť, ktorá sa udáva v percentách, vypovedá o obsahu pary vo vzduchu len v súvislosti s určitou teplotou v miestnosti a je daná vzťahom

$$RH = \frac{p_d}{p_d''} \cdot 100, \quad (3.1)$$

kde:

p_d - čiastočný tlak vodnej pary [hPa],

p_d'' - čiastočný tlak nasýtenej vodnej pary (zodpovedá maximálnemu nasýteniu vzduchu vodnou parou) [hPa].

Relatívna vlhkosť vnútorného vzduchu je jedným z najdôležitejších faktorov pre stanovenie podmienok vnútorného prostredia. Existuje mnoho štúdií, ktoré naznačujú, že vlhkosť vzduchu v interiéroch súvisí s výkonnosťou budovy a zdravím obyvateľov. Preto je nevyhnutná kontrola správnej úrovne vlhkosti vzduchu vo vnútri budov.

Ako je známe, v chladnom podnebí je vonkajšia teplota vzduchu zvyčajne nízka. Všeobecne sa vzduch vo vnútri budov ohrieva, aby sa zabezpečil vnútorný komfort. Avšak vzhľadom na to, že vonkajší vzduch je suchý (nízky pomer vlhkosti), je pri vstupe vonkajšieho vzduchu do interiéru veľmi nízka relatívna vlhkosť vzduchu. To je problémom v obdobiach vykurovania.

Hygroskopické látky v interiéroch môžu ľahko pohlcovať a udržiavať vlhkosť zo vzduchu v dôsledku ich pasívnych a environmentálnych vlastností. Ak je vnútorná vlhkosť vzduchu vysoká, hygroskopické látky môžu ukladať vlhkosť zo vzduchu a vracať ju do priestoru, keď je vlhkosť vzduchu nízka. Počas vykurovacieho obdobia sú tieto látky bezmocné, pretože relatívna vlhkosť vzduchu je na nízkej úrovni. Zvýšiť ju môžeme znížením teploty.

3.3 Dôsledky zvýšenej relatívnej vlhkosti vzduchu

Poškodenie očí bolo spojené s budovami, v ktorých bola zvýšená relatívna vlhkosť. Na druhej strane je potrebné sa vyhnúť vysokej vlhkosti (približne 60 %) z dôvodu množenia prachových roztočov. Niektoré štúdie dokazujú prítomnosť roztočov na kancelárskych kreslách vyrobených z textilu.

Zvýšená vlhkosť spôsobuje rast symptómov spôsobujúcich problémy s dýchacími cestami a môžu zvyšovať pravdepodobnosť vírusovej infekcie.

Celková nízka relatívna vlhkosť (približne 10 %) vysušuje sliznicu, najskôr oči a potom nasleduje nosná dutina. Epidemiologické, klinické a klimatické komorové štúdie naznačujú, že hodnota 40 % relatívnej vlhkosti je lepšia pre oko ako hodnota 30 %. Závisí to predovšetkým od veku a pohlavia danej osoby. Starší ľudia môžu byť na vnímanie rozdielných úrovní vlhkosti citlivejší ako mladí ľudia.

3.4 Syndróm suchého oka

Senzorické podráždenie očí a horných dýchacích ciest sú bežnými príznakmi pri nízkej kvalite vnútorného ovzdušia [20].

Udržiavanie ideálnej relatívnej vlhkosti je nevyhnutné pre zabránenie vysušovania predkorneového slzného filmu (PTF) a následnej zmeny chemického zloženia slz, čo môže ďalej viesť k únave a k podráždeniu očí. K PTF môže prispievať aj zlé osvetlenie alebo zlá viditeľnosť pri čítaní.

Relatívna vlhkosť udržiavaná v hodnote cca 40 – 50 % stabilizuje PTF voči vysušovaniu, senzorickým dráždidlám a iným znečisťujúcim látkam v interiéroch. Syndróm suchého oka môže byť potlačený okuliarmi alebo šošovkami [21].

3.5 Meranie relatívnej vlhkosti

Na meranie relatívnej vlhkosti sa využíva viacero metód. V praxi sa najčastejšie stanovuje vlhkosť vzduchu. Relatívna vlhkosť určuje pomer medzi skutočnou hmotnosťou vodnej pary a maximálnou hmotnosťou, ktorú je vzduch pri danej teplote

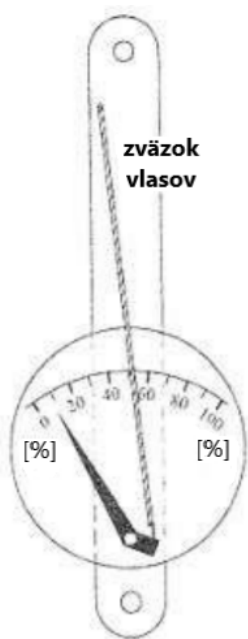
schopný absorbovať. Nižšie popísané metódy sa zaoberajú meraním relatívnej vlhkosti vzduchu.

3.5.1 Hygrometrická metóda

Táto metóda spočíva vo využívaní vhodných tuhých materiálov, ktoré vďaka svojej absorpcii a desorpcii vlhkosti zo vzduchu menia svoje fyzikálne a chemické vlastnosti ako napr. dĺžku, dielektrické vlastnosti, elektrický odpor a iné. Každý z týchto materiálov má inú absorpčnú dobu odozvy a preto každý senzor ma inú časovú konštantu. [22]

Dilatačný vlhkomer

Niektoré prírodné materiály (ľudský vlas) a syntetické produkty (nylon) sú schopné do svojej štruktúry absorbovať určité množstvo vody. Dané množstvo vody je úmerné relatívnej vlhkosti vzduchu. Absorbovaním vody dôjde ku zmene rozmeru týchto materiálov. Táto zmena môže byť prevedená mechanizmom na výchylku ručičky. Výhodou týchto vlhkomerov je možnosť pracovať pod bodom mrazu a sú vhodné pre orientačné merania vlhkosti.



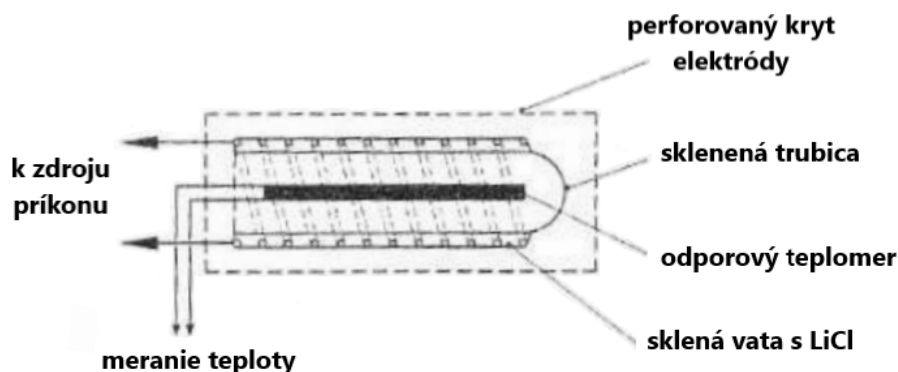
Obr. 3.1: Dilatačný (vlasový) vlhkomer. [24]

Kapacitný vlhkomer

Tieto vlhkomery využívajú prístup vzduchu k dielektriku, ktorý má sorpčné vlastnosti. Pri zmene vlhkosti dochádza k zmene vlhkosti materiálu tvoriaceho dielektrikum kondenzátora. Mení sa permitivita dielektrika, čím je možné vyhodnotiť vlhkosť vzduchu v jeho okolí. Sú málo závislé na teplote, odolné voči vysokým teplotám a majú rýchlu odozvu.

O odporový vlhkomer

U týchto senzorov sa využíva zmena elektrickej vodivosti $[S]$ (elektrického odporu $[\Omega]$) niektorých vodu pohlcujúcich materiálov. Odpor vzduchu sa meria pomocou 2 elektród a meranie prebieha striedavým napätím aby sa zabránilo polarizácii týchto elektród. Tento senzor má vysokú presnosť a dobrú stabilitu.



Obr. 3.2: Odporový vlhkomer. [24]

Rezonančný vlhkomer

Pri zmene relatívnej vlhkosti vzduchu sa zmení výstupná frekvencia oscilátora. Ako oscilátor sa používa kremíkový kryštál s vrstvou hydrofobného materiálu. Relatívna vlhkosť ovplyvňuje hmotnosť hydrofilného materiálu, ktorý za sucha kmitá na frekvencii f a pri zmene hmotnosti tohto materiálu sa zmení frekvencia. Vyhodnotením tejto zmeny sa dá zistiť relatívna vlhkosť vzduchu. [25]

3.5.2 Gravimetrická (váhová) metóda

Z pohľadu metrológie sa jedná o najpresnejšiu metódu. Je založená na princípe, kedy poznáme materiál, ktorý je schopný absorbovať vlhkosť a zistíme jeho hmotnosť v suchom stave. Na tento materiál necháme pôsobiť vlhkosť pokiaľ sa vlhkosť materiálu neustáli v rovnovážnom stave voči relatívnej vlhkosti vzduchu. Potom

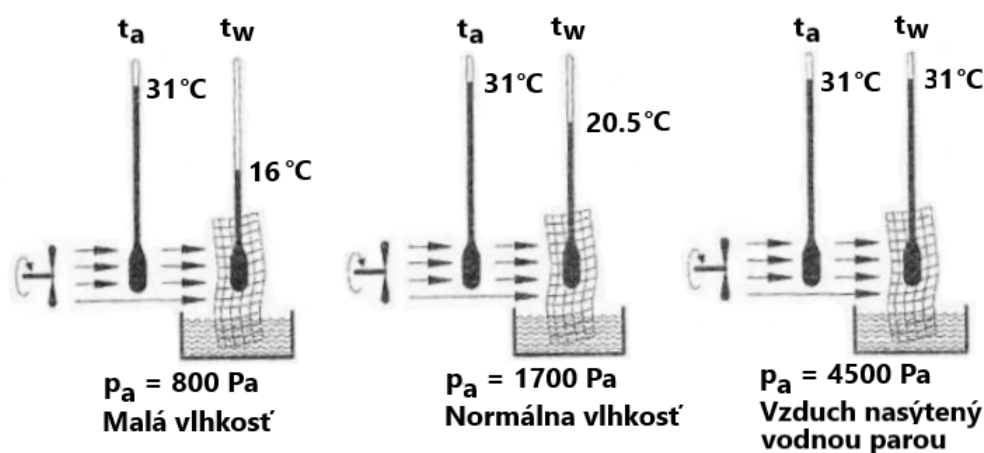
sa zváži hmotnosť vlhkého materiálu a rozdielom suchého a vlhkého materiálu sa určí hmotnosť vlhkosti obsiahnutej v tomto materiáli. Pomocou sorpčných vlastností materiálu sa dá určiť relatívna vlhkosť okolitého vzduchu. Táto metóda slúži hlavne na kalibráciu, pretože je nákladná, meranie je zdĺhavé a je použiteľná len v laboratórnych podmienkach.

3.5.3 Psychometrická metóda

Táto metóda je založená na súbežnom meraní teploty vzduchu tzv. „suchým“ teplomerom a teploty odparovanej kvapaliny tzv. „vlhkým“ teplomerom. Ortuťové puzdro „vlhkého“ teplomeru sa obalí tkaninou navlhčenou vodou s teplotou okolia. Pri odparovaní vody z tkaniny dochádza k odoberaniu výparného tepla z ortuťového puzdra a teplota na tomto teplomeri klesá až na medz adiabatického ochladenia. Rozdielom teplôt týchto dvoch teplomerov a známej rýchlosti prúdenia vzduchu v okolí teplomerov je možné vyhodnotiť vlhkosť vzduchu. [22][23]

Ako psychometrické senzory sa používajú:

- stabilné - bez nútenej cirkulácie vzduchu (s presnosťou $\pm 20\%$ RH),
- aspiračné - nútená cirkulácia vzduchu (presnosť podľa senzoru teploty $\pm 3\%$ RH).

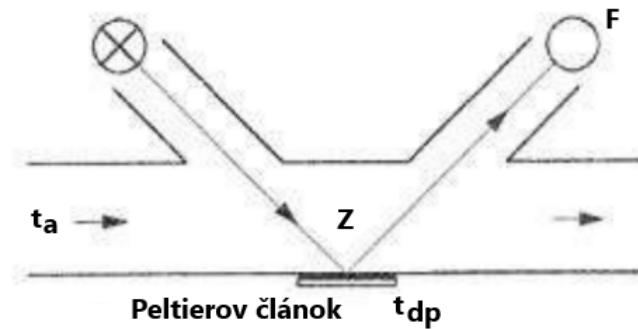


Obr. 3.3: Princíp psychometrickej metódy. [24]

3.5.4 Kondenzačná metóda

Kondenzačná metóda spočíva v určovaní rosného bodu t_{dp} , tzn. určení teploty, pri ktorej je vzduch nasýtený vodnou parou [24]. Zrkadlo vyrobené z materiálu,

ktorý ma dobrú tepelnú vodivosť (striebro alebo meď) a je pokryté vrstvou inertného kovu (zlato, nikel a pod.) sa postupne ochladzuje pomocou termoelektrického chladiča (Peltierov článok), až sa začnú na jeho povrchu sústavne tvoriť kvapôčky vody (rosa). V tomto okamihu sa zmeria teplota plochy, ktorá sa nazýva teplotou rosného bodu t_{dp} .



Obr. 3.4: Kondenzačný vlhkomer. [24]

Na Obr. 3.4 je znázornený kondenzačný vlhkomer, ktorý obsahuje aj LED diódu. Táto LED dióda svieti pod určitým uhlom na spomínané zrkadlo a odraz lúča smeruje do fotobunky. Vplyvom orosenia sa mení odrazivosť povrchu zrkadla a preto sa musí zväčšovať (zmenšovať) intenzita ochladzovania aby sa povrch zrkadla udržiaval len mierne orosený. Ďalej sa sníma teplota zrkadla pomocou zabudovaného platinového teplomeru. Po ustálení sa meria teplota okolitého vzduchu a teplota rosného bodu t_{dp} .

Výhodou kondenzačných vlhkomerov je dlhodobá stabilita, vysoká presnosť (hlavne pri nízkych hodnotách vlhkosti) a nieje ich potrebné často kalibrovať.

4 Oxid Uhličitý

Oxid uhličitý je bezfarebný, nehorľavý, atmosférický plyn bez chuti a zápachu. Vzniká reakciou uhlíka s kyslíkom, oxidáciou organických látok, spaľovaním uhľovodíkov a je produktom látkovej výmeny väčších organizmov. Skladá sa z jedného atómu uhlíka a dvoch atómov kyslíka, často označovaný rovnicou CO_2 a je približne 1,5 – krát ťažší ako vzduch [26].

Koncentrácia oxidu uhličitého sa najčastejšie udáva v jednotkách ppm . Táto jednotka vyjadruje počet častíc danej látky na milión iných častíc. Niekedy je výhodnejšie vyjadriť koncentráciu v hmotnostných jednotkách (mg m^{-3}), ktoré udávajú hmotnosť plynu v určitom objeme. Hodnota koncentrácie CO_2 v rôznych jednotkách je nasledujúca [27]

$$1000 \text{ ppm} = 0,1 \% = 1800 \text{ mg m}^{-3}. \quad (4.1)$$

4.1 Vznik oxidu uhličitého vo vnútri budov

Ako už bolo spomenuté, oxid uhličitý vzniká hlavne pri spaľovacích procesoch reakciou uhlíka a kyslíka alebo ako produkt metabolizmu živých organizmov. Hlavným zdrojom vzniku CO_2 vo vnútri budov je respirácia. Respiráciou sa rozumie proces získavania energie rozložením cukrov na bunkovej úrovni. Ak sa jedná o ľudí, proces respirácií možno nazvať dýchaním. V prípade rastlín sa tento proces nazýva fotosyntézou.

Pri dýchaní vznikajú reakciou glukózy a kyslíka produkty ako oxid uhličitý, voda a adenosíntrifosfát (ATP) [28], ako možno vidieť na danej rovnici



Rýchlosť respirácie (dýchania) závisí od typu činnosti, akú človek v danom okamihu vykonáva. Čím je táto činnosť fyzicky náročnejšia, tým sa frekvencia dýchania zvyšuje a človek tak prijíma a vylučuje väčšie množstvo vzduchu. Produkcia CO_2 nezávisí len od fyzickej činnosti ale aj od hmotnosti osoby, jej výšky a od psychickej pohody.

Objem oxidu uhličitého, ktorý môže osoba vyprodukovať rastie so zvyšujúcou sa fyzickou aktivitou. Produkcia CO_2 pri rozličných činnostiach a získaná z rôznych zdrojov je zobrazená v Tab. 4.1 [29].

Pri pokojnom dýchaní (približne 15 vdychov za 1 minútu) potrebuje človek asi 7,5 litra čerstvého vzduchu za 1 minútu. Vydychovaný vzduch človekom obsahuje približne 75,33 % dusíka; 15,33 % kyslíka; 6,27 % vodnej pary; 4,4 % oxidu uhličitého

Tab. 4.1: Množstvo vyprodukovaného oxidu uhličitého v závislosti od činnosti človeka a zdroja dát [29].

Zdroj dát	Typ činnosti	Produkcia CO ₂ [lh ⁻¹]
VDI 4300 B1.9:2003	ťažká práca	70 – 110
	stredne ťažká práca	40 – 70
	ľahká práca	20 – 40
	činnosť v sede	15 – 20
Recknagel, Sprenger, Schramek (1999)	ľahká aktivita v sede	20
ASHRAE (1989)	kancelárska práca	18
Max Joseph von Pettenkofer	bdelý stav	16

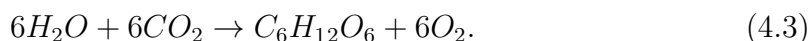
a ostatných plynov. Jedna osoba vyprodukuje za 1 hodinu okolo 10 – 75 litrov oxidu uhličitého v závislosti na vykonávanej aktivite. Spotreba kyslíka ľudským organizmom je pomerne malá v porovnaní s CO₂, a to približne 20 – 25 litrov za 1 hodinu [30].

4.2 Pettenkoferovo kritérium

Bavorský chemik a hygienik Max Joseph von Pettenkofer, ktorý je známy aj svojou prácou v oblasti čerstvosti vzduchu preukázal, že hlavnými produktami látkovej výmeny človeka je oxid uhličitý a vodná para. Meraním množstva CO₂ vo vydýchanom vzduchu zistil, že produkcia CO₂ závisí na fyzickej aktivite. Osoba, ktorá je v bdelom stave produkuje približne 16 lh⁻¹ oxidu uhličitého. Ďalej zistil, že koncentrácia CO₂ vo vnútri budov udáva kvalitu vnútorného prostredia a stanovil maximálne prípustné množstvo CO₂ na hodnotu 1000 ppm. Na základe zistení tiež definoval dávku čerstvého vzduchu pre jednu dospelú osobu na hodnotu 25 m⁻³h⁻¹ [31].

4.3 Využitie oxidu uhličitého

Okrem toho, že pri respirácii vzniká CO₂, prebieha v rastlinách aj proces fotosyntézy. Tento dej je opačný ako respirácia. Rastlina prijíma vodu, oxid uhličitý, chlorofyl a svetelnú energiu a produkuje kyslík a glukózu [28]. Tento proces je vyjadrený nasledujúcou reakciou



Oxid uhličitý je možné využiť aj v iných procesoch, napríklad [32]:

- výroba sýtených nápojov,
- odstraňovanie kofeínu z kávy a čaju,
- ochrana výrobkov pred pôsobením kyslíka (ochranná atmosféra),
- naplňovanie hasiacich prístrojov suchým ľadom,
- naplňovanie sprejov (kde nahrádza plyny, kt. môžu poškodzovať ozónovú vrstvu),
- extrakcia chmeľu pre použitie v pivovarníctve.

4.4 Vplyv oxidu uhličitého na zdravie

V atmosfére je obsah oxidu uhličitého veľmi nízky (0,04 %) a preto nepredstavuje zdravotné problémy pri pobyte vo vonkajšom prostredí. Väčším problémom sú však uzavreté miestnosti, kde koncentrácia oxidu uhličitého môže rýchlo narásť, čo spôsobuje zvýšenú únavu a zníženie produktivity u osôb nachádzajúcich sa v takomto prostredí.

Vplyv CO₂ na zdravie osôb je tiež daný dobou, po ktorú sú osoby vystavené vysokým koncentráciám. Dlhší pobyt v prostredí s vysokou koncentráciou CO₂ môže viesť k bolestiam hlavy, respiračným problémom alebo ochoreniam týkajúcich sa dýchacích ciest. Tieto zdravotné komplikácie môžu nastať v priestoroch, ktoré sú nedostatočne vetrané alebo v priestoroch s väčším počtom ľudí (školy, kancelárie, divadlá...) [33].

Tab. 4.2: Vplyv koncentrácie CO₂ na ľudský organizmus [1].

Koncentrácia CO ₂ [ppm]	Vplyv CO ₂ na ľudský organizmus
približne 350	úroveň vonkajšieho prostredia
do 1000	doporučená úroveň CO ₂ vo vnútorných priestoroch
1200 – 1500	doporučená maximálna úroveň CO ₂ vo vnútorných priestoroch
1000 – 2000	príznaky únavy znížovanie koncentrácie
2000 – 5000	možné bolesti hlavy
5000	maximálna bezpečná koncentrácia CO ₂ bez zdravotných rizík
> 5000	nevoľnosť a zvýšený tep
> 15000	dýchacie problémy
> 40000	možná strata vedomia

Účinky CO₂ na ľudský organizmus môžu mať rozdielne dopady na jednotlivé osoby. Závisí to od koncentrácie CO₂ vo vzduchu v jednotlivých priestoroch. V Tab. 4.2 je popísané, aký vplyv má koncentrácia CO₂ na ľudský organizmus. Doporučená maximálna úroveň CO₂ vo vnútorných priestoroch je stanovená na hodnotu v rozsahu

1200 – 1500 ppm [1]. Za maximálnu bezpečnú koncentráciu CO_2 sa považuje hodnota do 5000 ppm, kedy táto hodnota nespôsobuje osobám vážne zdravotné problémy.

4.5 Meranie oxidu uhličitého

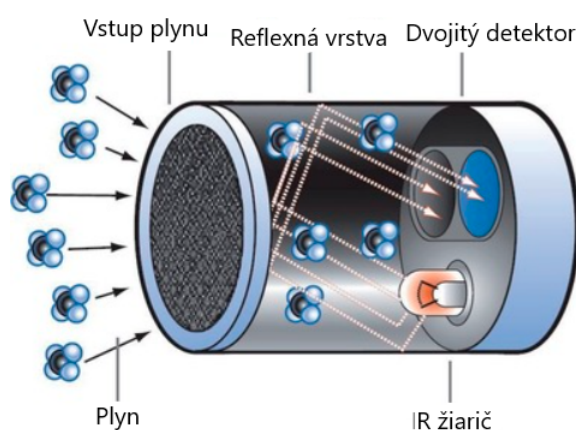
Okrem merania relatívnej vlhkosti vo vzduchu je dôležité merať aj oxid uhličitý, ktorý má taktiež vplyv na kvalitu vnútorného ovzdušia. Táto kapitola sa zaoberá jednotlivými metódami pre meranie CO_2 zo vzduchu.

4.5.1 Metódy merania oxidu uhličitého

Pretože meranie koncentrácie CO_2 v ovzduší je nepriame meranie, sú potrebné k získaniu meraných hodnôt senzory, ktoré využívajú chemické a fyzikálne princípy. Namerané hodnoty sú ovplyvnené meracím rozsahom, presnosťou, rýchlosťou odozvy alebo požiadavkami na prevádzkové podmienky. Prístroje sa líšia technickými a meracími vlastnosťami, reprodukciou, presnosťou merania alebo náročnosťou ich kalibrácie [34][35].

IR metóda (spektroskopia)

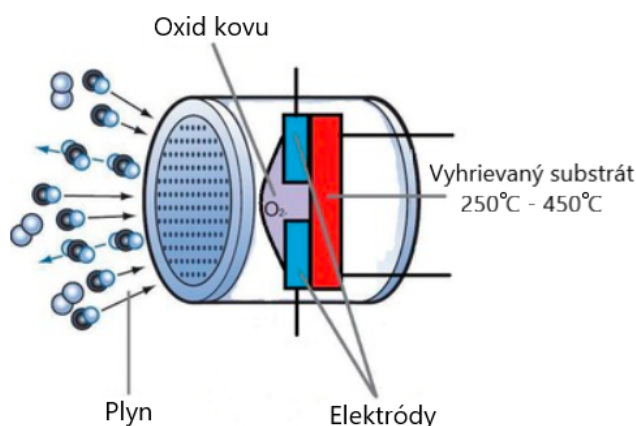
Molekula CO_2 silno absorbuje svetlo v IR časti spektra, pretože je asymetrická a polyatomická. Porovnáva sa zoslabená intenzita svetla voči pôvodnej intenzite svetla. Intenzita svetla sa znižuje vplyvom prechodu signálu v závislosti na koncentrácii prítomného CO_2 . Táto metóda predstavuje najlepšie výsledky merania. Výhodou metódy je veľmi dobrá selektivita, dlhodobá stabilita, dlhá životnosť zariadenia a rozsah merania, nevýhodou sú obstarávacie náklady [34][35].



Obr. 4.1: Schéma IR metódy [35].

Metóda s polovodičom

Princíp merania koncentrácie je založený na zmene vodivosti polovodiča za prítomnosti meraného plynu. Ako materiály sa používajú predovšetkým oxidy kovov (oxid zinku, cínu, wolframu, india). Na povrchu tohto materiálu sa vplyvom molekúl kyslíka vytvorí rovnovážny stav, ktorý sa za prítomnosti iného plynu poruší a spôsobí tak zmenu vodivosti. Používa sa len v nízkych meracích rozsahoch a predovšetkým pre signalizáciu prekročenia určitého nastaveného prahu. Táto metóda je nízko nákladová a má veľkú životnosť. Nevýhodou je nízka selektivita, nelineárny priebeh a časová nestabilita (drift) [35].



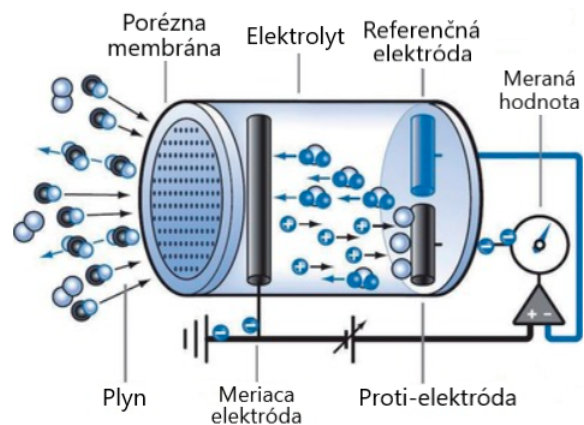
Obr. 4.2: Princíp metódy s polovodičom [35].

Elektroakustická metóda

Princíp tejto metódy spočíva vo vyhodnocovaní zmien kmitočtu ultrazvuku v mechanickom rezonátore. Využitím príslušnej elektroniky sa vyhodnocuje zmena kmitočtu vysielaných ultrazvukových vln. V závislosti na koncentrácii CO_2 vo vzduchu a zmene kmitočtu sa určuje aktuálna koncentrácia. Výhodou je stabilita bez nutnosti recalibrácie, naopak nevýhodou je veľmi nízka presnosť [35].

Elektrochemická metóda

Elektrochemický senzor vytvára signál (elektrický prúd), ktorý je úmerný koncentrácii sledovaného plynu. Tento plyn je vytváraný reakciou molekúl oxidu uhličitého s elektrolytom uzavretým vo vnútri senzora. Materiál elektród, elektrolytu a napätie medzi elektródami sú zvolené tak, aby na meracej elektróde dochádzalo k elektrochemickej reakcii, ktorá je doprevádzaná vznikom voľných elektrónov. Prúdový signál je veľmi slabý a preto musí byť zosilnený. Tento signál odpovedá koncentrácii CO_2 v ovzduší.



Obr. 4.3: Schéma elektrochemickej metódy [35].

Pri správnej kalibrácii je možné dosiahnuť presného merania, avšak stále nie je dostatočné ako IR metóda. Najčastejšie sa používajú v prenosných prístrojoch, v stacionárnych sa takmer nepoužívajú. Medzi jeho výhody patria dobré meracie vlastnosti a obstarávacie náklady. Nevýhodou je pomerne krátka životnosť elektrolytov a rozsah merania do 400 ppm [35].

5 Systém Foxtrot

Riadiaci a regulačný centralizovaný systém Tecomat Foxtrot je vyvíjaný, vyrábaný a distribuovaný spoločnosťou Teco a.s., ktorá patrí medzi najznámejších českých výrobcov programovateľných riadiacich systémov. Používa sa pre riadenie, koordináciu, dohľad a diaľkový prístup k jednotlivým zariadeniam v dome. Môže sa prevádzkovať spolu s ďalšími systémami v dome ako sú napr. EZS/EPS ústredne, klimatizačné jednotky, plynové kotle atď. Disponuje širokým výberom systémových aktorov a senzorov.

Systém Tecomat Foxtrot sa skladá z dvoch hlavných častí. Prvá časť je tvorená základným modulom obsahujúcim mikroprocesor, napájacie obvody, port pre Ethernet, vstupy/výstupy a komunikačné kanály pre zbernice CIB, TCL2. Druhú časť tvoria periférne moduly CFox a RFox [36].

Dodáva sa v množstve rôznych modifikácií a je určený pre trh automatizácie (napr. priemyslová automatizácia, automatizácia budov, inteligentné domy, ...). Sú odolné, spoľahlivé a majú dlhú životnosť.

Vďaka svojim komunikačným schopnostiam môže systém komunikovať s mnohými zariadeniami v dome (zabezpečovacie systémy, tepelné čerpadlá, systém rekuperácie a ventilácie, ...). Celý systém je voľne naprogramovateľný, a to i za chodu aplikácie. Pre programovanie sa využíva programovacie prostredie Mosaic, ktoré je taktiež produktom spoločnosti Teco a.s.. Vzhľadom ku štandardu ČSN EN 61131 sa dá s ním pracovať i bez predchádzajúcej znalosti programu. V tomto programovacom prostredí je možné si vybrať z množstva predpripravených funkcií pre používané prvky v projekte ale zároveň sa dá do funkcií vkladať vlastný kód.

Týmto systémom je možné taktiež riadiť decentralizovaný systém KNX. Z dôvodu absencie centrálnej jednotky sú funkcie v jednotlivých moduloch naprogramované už z výroby a nie je ich možné dodatočne doprogramovať. U väčšiny aplikácií je tento rozsah dostatočný a nedostatok sa nijako výrazne neprejavuje [37].

Spoločnosť Teco a.s. je po ukončení výroby jednotlivých generácií riadiacich systémov schopná vyrábať príslušné náhradné diely po dobu desiatich rokov. Nové riadiace systémy sú plne kompatibilné so starými riadiacimi systémami. Zákazník je preto schopný rozšíriť starý riadiaci systém o moduly z novej rady [37].

5.1 Centrálna riadiaca jednotka

Na riadenie systému sa využíva základná jednotka a to Foxtrot CP-1000, ktorá je použitá v tejto diplomovej práci. Táto centrálna jednotka tvorí akýsi „mozog“ celého systému. Pracuje na princípe získavania a predávania informácií z a do riadeného zariadenia prostredníctvom číslícových alebo analógových vstupov a výstupov [38].



Obr. 5.1: Cyklus programovateľného automatu [38].

Algoritmus, ktorý riadi PLC, zapisuje postupnosť krokov do pamäte užívateľského programu. Následne sú z tejto pamäte postupne čítané jednotlivé kroky centrálnou jednotkou dovtedy, dokým nedôjde k prevedeniu všetkých krokov v požadovanom algoritme. Potom procesor aktualizuje výstupné premenné do výstupných periférnych modulov a uloží aktualizované stavy zo vstupných periférnych modulov. Jednorazová aktualizácia vstupných premenných prebiehajúcich v dobe celého cyklu umožňuje odstránenie nepriaznivých stavov. Pod pojmom cyklus programu možno chápať stále opakovanie. Na Obr. 5.1 je znázornený cyklus programovacieho automatu.

5.2 Základné moduly systému Foxtrot

V tejto kapitole sú zhrnuté jednotlivé základné moduly systému Foxtrot a ich parametre. Tecomat Foxtrot má v ponuke niekoľko rôznych variánt centrálnych jednotiek pre automatizované riadenie.

Tab. 5.1: Prehľad základných modulov Foxtrot vrátane zjednodušeného prehľadu vstupov a výstupov [40].

	CP-100y	CP-101y	CP102y	AI	DI	DI 230	HDO	AO	RO	DO (SSR)	CIB
CP-10x0	CP-1000	-	CP-1020	4	4	1	1	-	2	-	2
CP-10x4	CP-1004	CP-1014	-	4	4	-	-	-	6	-	1
CP-10x5	CP-1005	CP-1015	-	6	-	-	-	2	6	-	1
CP-10x6	CP-1006	CP-1016	-	13 + 1 HSC	-	-	1	2	10	2	1
CP-10x8	CP-1008	CP-1018	-	10 + 2	-	-	1	4	6 (7)	2 + 2	1
LED ind.	ANO	-	ANO								
40x20 LCD	-	ANO	-								
RF master	-	-	ANO								

kde:

x - definuje indikačnú časť (horný panel),

y - definuje perifernú časť (spodnú časť s konektormi).

Vysvetlenie jednotlivých skratiek v Tab. 5.1:

AI - analógové vstupy,

DI - binárne vstupy,

HDO - vstup pre pripojenie signálu HDO,

AO - analógové výstupy,

RO - reléové výstupy,

DO - reléové výstupy osadené SSR relé so spínaním v nule,

CIB - zbernica.

Tieto moduly sú ústredným prvkom systému Foxtrot a sú vybavené napájacím zdrojom, komunikačnými kanálmi, vstupmi a výstupmi. Na vrchnom paneli sa nachádza okrem vyvedeného portu Ethernet aj indikačná časť, ktorá je dostupná v niekoľkých variantách [39]. Jednotlivé typy základných modulov sa líšia počtom a typom vstupov a výstupov [39].

5.2.1 CP-1000

Tento modul patrí medzi základné centrálné jednotky z najnižšej rady, ktorá je určená pre prvky rodiny CFox a RFox. Používa sa pre jednoduché aplikácie v oblasti domových inštalácií. Umiestňuje sa na DIN lištu.

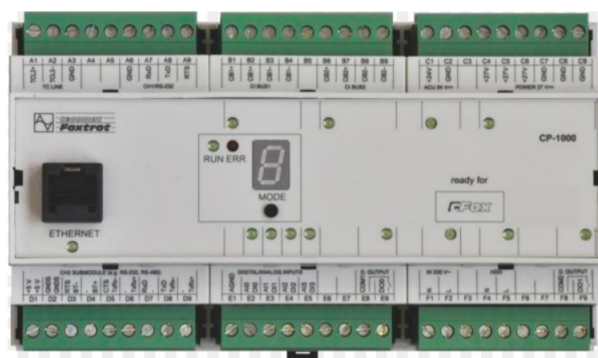
Na prednom paneli je osadený Ethernetový konektor s rozhraním 10/100 Mb/s, ktorý slúži pre pripojenie do siete internetu pre možnosť komunikácie cez naprogramované webové stránky. Ďalej obsahuje jednotlivé LED diódy slúžiace na indikáciu rôznych stavov funkcií centrálnej jednotky. Je vybavený 7-segmentovým zobrazovačom určeným pre indikáciu jednotlivých pracovných režimov a taktiež pre zistenie IP adresy. Pracovné režimy môžu byť napríklad výpadok napájania – O, režim RUN – G, režim HALT – H a režim PROG – P.

Vo vnútri tohto modulu sa nachádza Li-Ion batéria. V prípade výpadku elektrickej energie môže zálohovať vnútorné dáta a čas na približne 500 hod. Taktiež obsahuje slot slúžiaci na pripojenie externej batérie typu CR2032. Tým sa doba zálohovania predĺži na približne 20 000 hod. Na ľavej strane sa nachádza slot pre pamäťovú kartu typu MMC a SD pre rozšírenie pamäti.

Okrem pripojenia rozširujúcich modulov vstupov/výstupov obsahuje aj 4 univerzálne vstupy, 2 vstupy pre 230V AC a 2 samostatné reléové výstupy. Ďalej tento modul obsahuje:

- vstup pre signál z HDO (spínanie jednotlivých prvkov),
- 2 výstupy pre zbernicu CIB (max. prúdový odber 2x1 A),

- 2 sériové kanály,
- 2 sériové kanály pridané pomocou modulu SC-xxxx,
- 6 sériových kanálov pridaných pomocou submodulu MR-xxxx,
- sériový kanál RS232 (pripojenie GSM modemu),
- sériový kanál (pripojenie voliteľného submodulu),
- obvod reálneho času (RTC),
- zbernicu TCL2 (pripojenie rozširujúcich modulov),
- pamäť užívateľského programu a tabuliek (192kB + 64kB),
- pamäť DataBox (512kB pre zápis spravených úkonov systémom),
- počet užívateľských registrov (64kB),
- 8192 čítačov,
- 4096 časovačov.



Obr. 5.2: Základný modul CP-1000. [41]

6 Mosaic

Mosaic je vývojové prostredie slúžiace na tvorbu a ladenie programov pre programovateľné logické systémy (PLC) od firmy Teco a.s., a teda systém Tecomat Foxtrot. Je vyvíjaný v zhode s medzinárodnou normou IEC EN-61131-3 a je dostupný len pre operačný systém MS Windows.

Umožňuje programovať všetky rady PLC dodávané firmou Teco a.s.. Nové verzie sú stále kompatibilné so všetkými staršími systémami. Prostredie vychádza z textového prostredia DOS xPRO, s ktorým je kompatibilné. Podľa vyššie spomenutej normy sa program skladá z elementov nazývaných programové organizačné jednotky (POU). Týmito jednotkami sú funkcie, funkčné bloky a samotný program.

Programovať v tomto vývojovom prostredí sa dá pomocou grafických i textových jazykov, a to v jazyku reléových schém (LD), funkčných blokov (FBD), štruktúrovaného textu (ST) alebo v jazyku inštrukcií (IL). Programovanie v grafických jazykoch je v tomto programe vcelku jednoduché a intuitívne. Jednotlivé bloky sa vyberajú z nástrojovej lišty a umiestňujú na pracovnú plochu. Pri vkladaní blokov sa zobrazuje dialógová lišta pre priradenie premennej či označenie jednotky.

V textových jazykoch je podpora podobná. V jazyku štruktúrovaného textu sa dá využiť ponúkaného dokončenia rozpísaných programovacích príkazov, vkladania dostupných premenných alebo premenné špecifikovať pomocou IEC asistenta.

Program Mosaic obsahuje množstvo knižníc s funkciami a funkčných blokov od jednoduchých čítačov po zložitejšie ako sú funkcie pre prácu s pamäťovou kartou, komunikačné protokoly, odosielanie e-mailov alebo komunikácie s internetovými servermi. Taktiež ponúka vytvorenie vlastných knižníc s funkciami.

Tento program je určený pre tvorenie a ladenie programov týkajúcich sa veľkých či malých projektov nezávislých na počte PLC v sieti. Pomocou vstavaného simulátora PLC možno ladiť programy bez pripojenia reálneho hardvéru. Táto simulácia má schopnosť komunikovať s ľubovoľným vizualizačným softvérom a dá sa využiť pre rôzne typy PLC od firmy Teco a.s. [42].

7 Zostavenie a sprevádzkovanie meracieho prípravku

Aby boli používané snímače uvedené do prevádzky, bolo potrebné ich správne zapojiť a nastaviť. Na začiatku boli tieto senzory spolu s PLC pripojené na pracovnom stole v školskom laboratóriu pomocou laboratórnych káblov a laboratórneho zdroja. Aby sa so snímačmi dalo ľahko manipulovať a tak premiestňovať do rôznych miestností, bol zostavený merací prípravok. Následne bola nastavená komunikácia medzi PLC a počítačom, na ktorom sa v programovacom prostredí Mosaic nakonfigurovali jednotlivé komponenty meracieho prípravku.

7.1 Použitý snímač

Snímač použitý v tejto diplomovej práci je prototypom spoločnosti Teco a.s.. Keďže sa jedná o prototyp, tak k nemu nie je žiadna podrobná dokumentácia. Tento snímač bol popísaný na základe všeobecných poznatkov z verejných dokumentácií pod označením C-RQ-0600 alebo C-RQ-0600S. Pod týmto označením sa nachádza samostatný komunikačný modul, ku ktorému sa pripájajú interiérové časti, ktoré obsahujú jednotlivé senzory ako PIR, RH+T, CO₂ alebo ich kombinácie. Tieto označenia sa líšia podľa kombinácie použitých senzorov. V tomto prípade je použitý snímač, ktorý sa skladá z modulu a interiérovej časti obsahujúcej senzory na meranie teploty, relatívnej vlhkosti a oxidu uhličitého. Snímač je označený C-RQ-0600R-CHT a je určený pre vnútorné použitie.

7.1.1 C-RQ-0600R-CHT

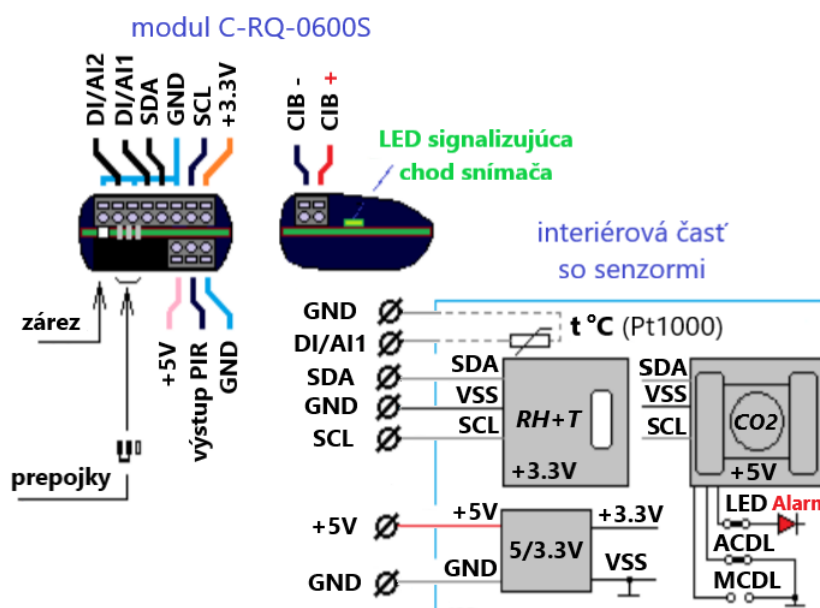
Kompletný snímač sa skladá z modulu C-RQ-0600S a interiérovej časti, ktorá obsahuje spojenie senzorov RH+T a CO₂. Pre tento prípad spojenia je snímač odlišný označením C-RQ-0600R-CHT a je možné ho nájsť pod objednávacím číslom TXN 133.61.03. Záčíslenie *.03 definuje kombináciu týchto senzorov.

V interiérovej časti sa nachádzajú dva senzory SHT21 (I^2C senzor pre meranie relatívnej vlhkosti a teploty) a I^2C senzor na meranie oxidu uhličitého. Na meranie koncentrácie CO₂ je použitý senzor typu S-300. [43]

V interiérovej časti sa nachádzajú dve LED diódy, ktorých signalizácia je vyvedená na povrch tejto časti. Rozsvietenie červenej LED diódy signalizuje prekročenie koncentrácie CO₂ v ovzduší nad hodnotu 800 ppm. Pri poklese koncentrácie CO₂ pod túto hodnotu červená LED dióda zhasne. Hodnota je nastavená výrobcom a

nie je možné ju zmeniť. Červená indikačná LED dióda sa dá úplne vypnúť rozpojením internej LED prepojky, ktorá sa nachádza na zadnej strane interiérovej časti. Vnútoraná časť obsahuje ďalej oranžovú indikačnú LED diódu, ktorá pravidelne preblikáva a signalizuje tak prevádzku CO₂ senzora. Táto LED dióda sa nedá vypnúť.

Aby senzor na meranie koncentrácie CO₂ optimálne fungoval, je potrebné ho nakalibrovať. Kalibráciu je možné previesť dvomi spôsobmi, a to buď automaticky alebo manuálne. Automatickú kalibráciu možno dosiahnuť osadením prepojky na zadnej strane a prepojením kontaktov ACDL. K prvej automatickej kalibrácii dochádza po 3 dňoch od zapnutia napájania a potom každý týždeň [43].



Obr. 7.1: Schéma zapojenia komunikačného modulu C-RQ-0600S a interiérovej časti so senzormi [43].

Manuálna kalibrácia sa prevádza pri zapnutom snímači pripojenom na napájacie napätie. Následne je snímač umiestnený do vyvetraného priestoru (najlepšie vonku, kde je obsah CO₂ približne 400 ppm) na dobu najmenej 30 minút. Ďalej sú prepojkou spojené kontakty MCDL, ktoré sa nachádzajú taktiež na zadnej strane interiérovej časti. Pri prepojení týchto kontaktov je súčasne nutné rozpojenie kontaktov ACDL. Kontakty MCDL musia byť ponechané v prepojení po dobu 10 minút. Po uplynutí tejto doby sa prepojka rozpojí a snímač pracuje s upravenými hodnotami. Počas celej doby rekalkibrácie musí byť snímač umiestnený vo vyvetranom priestore.

Senzor SHT21

Tento senzor je určený na meranie relatívnej vlhkosti a teploty. Je presný, stabilný a má minimálnu spotrebu energie. Okrem kapacitného snímača relatívnej vlhkosti a teploty obsahuje zosilňovač, A/D prevodník, OTP pamäť a jednotku digitálneho spracovania. Samotný senzor je vyrobený z kremíka a jeho obal sa skladá z medených plátov [44].

Prevodom výstupného signálu teploty S_T pomocou vzťahu (7.1) je dosiahnutý výsledok teploty v stupňoch Celzia ($^{\circ}C$) [44]

$$T = -46,85 + 175,72 \frac{S_T}{2^{16}}, \quad (7.1)$$

kde:

T - teplota v stupňoch Celzia [$^{\circ}C$],

S_T - výstupný signál teploty [-].

Prevedenie výstupného signálu relatívnej vlhkosti S_{RH} na relatívnu vlhkosť v percentách (%) je dané vzťahom (7.2) [44]

$$RH = -6 + 125 \frac{S_{RH}}{2^{16}}, \quad (7.2)$$

kde:

RH - relatívna vlhkosť v percentách [%],

S_{RH} - výstupný signál relatívnej vlhkosti [-].

Senzor S-300

Senzor S-300 určený na meranie oxidu uhličitého patrí medzi najmenšie senzory na svete. Je veľmi odolný a stabilný. Pracuje na princípe IR alebo NDIR, ktorý je založený na útlme intenzity infračerveného svetla prenikajúceho skrz molekuly plynu. [45] Molekuly CO_2 zachytia časť vyžiareného infračerveného svetla a zvyšok svetla sa zachytí na fotodióde.

7.1.2 Porovnanie použitých snímačov s inými prístrojmi

Pre zistenie, či použité snímače merajú dané parametre správne, boli tieto snímače porovnané s inými prístrojmi. Pre porovnanie boli k dispozícii 2 prístroje, ktoré merajú vybrané veličiny a meranie prebiehalo v dvoch miestnostiach, pretože jeden z prístrojov bol pevne umiestnený v jednej miestnosti. Použitý bol prístroj na meranie CO_2 Testo 535 a meteostanica Netatmo, ktorá merala všetky parametre.

Merací prípravok bol umiestnený do vyvetranej miestnosti, tak aby jednotlivé senzory boli od seba dostatočne vzdialené. Oba senzory boli manuálne nakalibrované podľa návodu. Po kalibrácii sa k jednotlivým snímačom priložil prístroj Testo 535,

Tab. 7.1: Porovnané namerané hodnoty snímačov a prístroja Testo 535 CO₂.

Čas [min]	Oxid uhličitý [ppm]			
	Snímač 1 (9CF6)	Testo 535 CO ₂	Snímač 2 (9CF5)	Testo 535 CO ₂
1	423	442	555	562
2	427	438	563	546
3	429	434	568	579
4	429	433	584	594
5	430	436	582	572
6	432	437	589	549
7	428	435	593	594
8	426	434	612	564
9	424	436	595	592
10	425	434	598	572

ktorý sa po zapnutí nakalibroval automaticky. Namerané hodnoty zo snímačov boli uložené do pamäte PLC a v prípade prístroja Testo 535 boli tieto hodnoty spolu s časom zapisované do tabuľky. Pre každý zo snímačov bolo nameraných 30 hodnôt. Časť týchto nameraných hodnôt je zobrazená v Tab. 7.1 a kompletne tabuľky sú v Prílohe A. V Tab. 7.1 je vidieť, že hodnoty namerané prístrojom a snímačom 1 sa líšia minimálne, zatiaľ čo u snímača 2 je v niektorých prípadoch veľký rozdiel nameraných hodnôt. Pri meraní bolo spozorované, že použité snímače zaznamenávali hodnoty s časovým oneskorením oproti použitému prístroju Testo 535.

Tab. 7.2: Porovnané namerané hodnoty snímačov a meteostanice Netatmo.

Čas [min]	Oxid uhličitý [ppm]			Relatívna vlhkosť [%]			Teplota [°C]		
	Snímač 1 (9CF6)	Snímač 2 (9CF5)	Meteostanica NETATMO	Snímač 1 (9CF6)	Snímač 2 (9CF5)	Meteostanica NETATMO	Snímač 1 (9CF6)	Snímač 2 (9CF5)	Meteostanica NETATMO
15:45:00	558	540	603	29	27	39,4	28,5	29,8	26,1
15:55:00	562	555	641	28	26	38,6	28,9	30,6	26,1
16:05:00	564	561	609	28	25	38,5	29,2	31,1	26,1
16:15:00	561	545	594	28	25	38,5	29,4	31,4	26,1
16:25:00	551	544	591	27	25	38,5	29,6	31,6	26,1
16:35:00	557	539	586	27	24	38,5	29,7	31,7	26,0
16:45:00	555	545	585	27	24	38,5	29,8	31,8	26,0
16:55:00	551	530	578	27	24	38,5	29,8	31,8	26,0
17:05:00	543	532	566	26	24	38,5	29,9	31,7	26,0
17:15:00	556	538	572	27	24	38,5	29,9	31,8	25,9

Ďalej bol tento merací prípravok umiestnený na dlhšiu dobu do miestnosti, v ktorej bola umiestnená meteostanica Netatmo. Táto meteostanica merala všetky parametre, aké merajú použité snímače, preto bolo možné porovnať nielen senzory na meranie CO₂, ale aj senzory na meranie relatívnej vlhkosti a teploty. Snímače boli umiestnené takmer v rovnakej výške ako snímač danej meteostanice. Jednotlivé hodnoty boli zaznamenávané každých 5 minút. Niektoré namerané hodnoty sa

nachádzajú v Tab. 7.2 a všetky hodnoty sú v Prílohe B. Z Tab. 7.2 je vidieť, že namerané hodnoty jednotlivých parametrov z meteostanice Netatmo sa líšia od hodnôt, ktoré boli namerané oboma snímačmi.

7.2 Merací prípravok

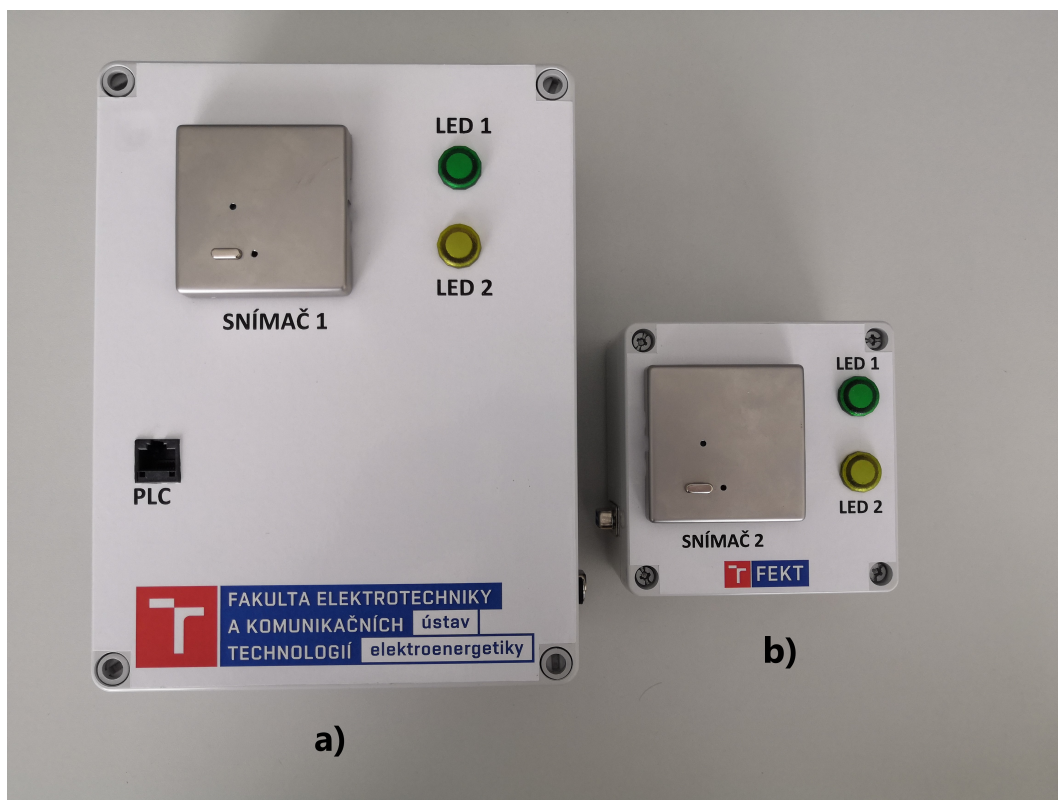
Pri návrhu meracieho prípravku sa muselo dbať na umiestnenie jednotlivých komponentov nielen na vonkajšej strane, ale aj vo vnútornom priestore oboch krabičiek. Správne usporiadanie vo vnútri krabičiek je dôležité preto, aby nedochádzalo k prekryvaniu jednotlivých častí alebo lámaniu káblov po zapojení k jednotlivým komponentom. Preto bolo potrebné vybrať vhodné rozmery krabičiek.

K dispozícii bolo viacero rozmerov krabičiek ale najvhodnejšie boli krabičky s rozmermi väčšej 170 mm x 220 mm x 80 mm (šírka x výška x hĺbka) a menšej 105 mm x 105 mm x 60 mm (šírka x výška x hĺbka). Krabička pre PLC musela byť kvôli jeho rozmerom omnoho väčšia oproti druhej krabičke. Na oboch krabičkách boli vopred ceruzkou načrtnuté návrhy umiestnenia komponentov na vonkajších stranách a následne boli dané miesta preskúmané pre prípad možného prekryvu s umiestnením komponentov vnútri krabičiek.

Pre zaistenie fixného upevnenia boli podľa návrhu následne vyrezané otvory o niečo menších rozmerov ďalej upravené pilníkmi pre docielenie uloženia s presahom.

Po vyrezaní všetkých dier pre súčiastky sa pristúpilo k riešeniu upevnenia PLC vo vnútri väčšej krabičky. Zo zadnej strany tejto krabičky boli vyvrtané dve dierky, do ktorých boli vložené skrutky dlhšieho prevedenia pre uchytenia DIN lišty a pre následne umiestnenie PLC. Táto lišta bola pomocou skrutiek nastavená na vyhovujúcu vzdialenosť tak, aby PLC priliehало k prednej časti krabičky a aby poza neho viedli prepojovacie káble. Správne priliehanie PLC bolo nastavené pomocou ethernetového vývodu z PLC, ktorý zapadol do predpripraveného otvoru.

Na Obr. 7.2a) je znázornené prevedenie väčšej krabičky. Na prednej strane je umiestnený snímač 1, ktorý meria dané parametre. Spolu so snímačom 1 sú na prednej strane dve LED diódy, ktoré signalizujú prekročenie nastavených medzí koncentrácie CO₂ v ovzduší. Zelená LED dióda (LED 1) signalizuje prekročenie medze snímača 1 a oranžová (LED 2) prekročenie snímača 2, ktorý sa nachádza na menšej krabičke. Vo vnútri väčšej krabičky sa nachádza spomínané PLC, z ktorého je na prednú stranu vyvedený ethernetový konektor slúžiaci pre pripojenie PLC k počítaču alebo do siete. Na bočnej strane krabičky sa nachádza konektor na napájací zdroj. Napájacím zdrojom je 24V DC transformátor (tzv. adaptér), ktorý je odnímateľný. Poslednou súčasťou väčšej krabičky je 9 pinový Sub-D konektor (samec), ktorý slúži na prepojenie oboch krabičiek pomocou prepojovacieho kábla.



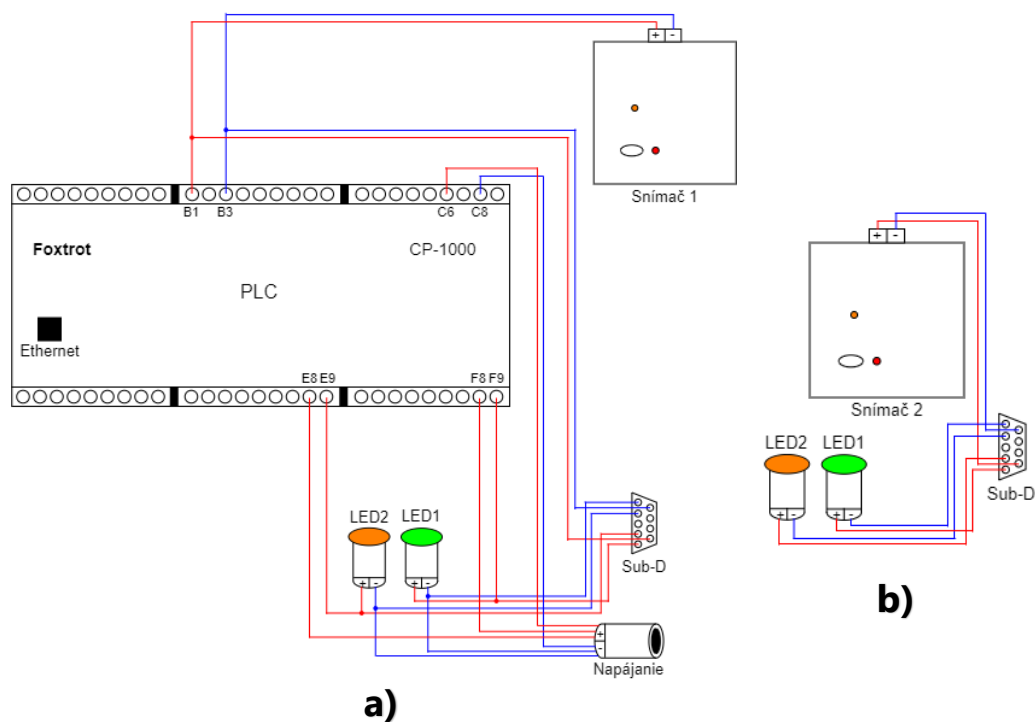
Obr. 7.2: Zostavenie krabičiek: a) väčšia krabička s PLC; b) menšia krabička.

Krabica menšieho prevedenia sa nachádza na Obr. 7.2b). Na tejto krabičke sa nachádza snímač 2 a taktiež dve LED diódy, ktoré signalizujú rovnaké nastavenia medzí ako v prípade väčšej krabičky. Na bočnej strane sa taktiež nachádza 9 pinový Sub-D konektor (samec), ku ktorému sa pripája druhá strana prepojovacieho kábla. Prepojovací kábel je zhotovený zo sieťového UTP kábla a dvoch 9 pinových Sub-D konektorov (samíc).

7.2.1 Schémy zapojenia jednotlivých krabičiek

Finálnym krokom mechanického zostavenia meracieho prístroja bolo prepojenie všetkých komponentov. Schéma zapojenia väčšej krabičky je zobrazená na Obr. 7.3a). Napájanie menšej krabičky je vyvedené na 9 pinový Sub-D konektor. Je vidieť, že oba snímače komunikujú cez CIB zbernicu nachádzajúcu sa na danom PLC. Na reléové kontakty PLC, ktoré sa spínajú, sú pripojené LED diódy oboch krabičiek. Z konektora určeného pre napájací zdroj je napájané PLC a jednotlivé LED diódy.

Na Obr. 7.3b) je vidieť schému zapojenia komponentov menšej krabičky. Kabeláž je vyvedená z 9 pinového Sub-D konektora, ktorý je zapojený rovnako ako v prípade väčšej krabičky. Z tohto konektoru je napojený snímač 2 a jednotlivé LED diódy.



Obr. 7.3: Schémy zapojenia: a) väčšej krabičky; b) menšej krabičky.

Na prepojenie všetkých komponentov boli použité CYA káble. Tieto káble boli prispájkované k jednotlivým konektorom. Pre lepšie uchytenie do svoriek boli v prípade zapojenia týchto káblov k PLC, snímačom a LED diódam použité káblové dutinky, ktoré boli krimpovacími kliešťami zalisované.

Pre lepšie vizuálne prevedenie jednotlivých krabičiek bol vytvorený návrh tapety, ktorá bola umiestnená na predné strany týchto krabičiek. Na lesklú samolepiacu fóliu bola urobená potlač s popisom jednotlivých komponentov.

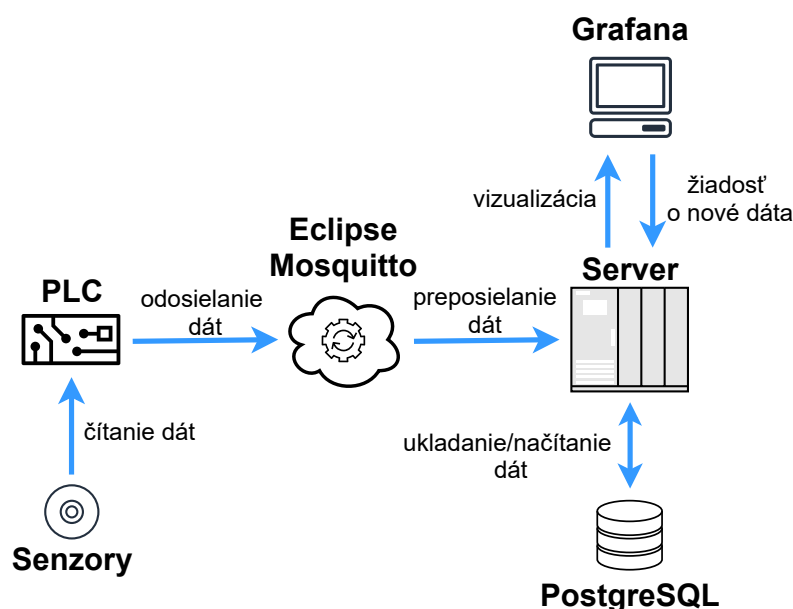
8 Vizualizácia a interpretácia dát online

Rovnako dôležité ako získanie nameraných dát je ich správne uchovanie a následné spracovanie. Pre lepší prehľad je potrebné tieto dáta vizualizovať do grafov a správne interpretovať. Potom sa dá s nimi ľahko pracovať a hľadať súvislosti medzi nimi. Nakoniec po získaní širšieho množstva dát, ich správneho analyzovania a vyhodnocovania sa dajú určiť potrebné opatrenia slúžiace k zníženiu energetickej náročnosti budov.

Vizualizáciou sa rozumie prevedenie informácií zo zvyčajne textovej podoby do vizuálneho kontextu. Tým sa uľahčí hľadanie nových informácií, ktoré sú v pôvodnej podobe ťažko rozpoznateľné, pretože obsahujú veľké množstvo nameraných dát.

Aby sa s týmito nameranými dátami dalo pracovať odkiaľkoľvek, rieši sa interpretácia a vizualizácia dát online. Online riešenie je výhodné, či už z hľadiska pohodlnosti, kedy nie je potreba sa pripájať káblom k meraciemu prípravku ale aj v prípade umiestnenia meracieho prípravku mimo dosah užívateľa. Jedinou nevýhnutnosťou ostáva pripojenie na internet.

V tejto kapitole je popísaný postup a spôsoby, ktoré boli použité na dosiahnutie vizualizácie a interpretáciu dát online. Na Obr. 8.1 je znázornený diagram navrhnutého systému.



Obr. 8.1: Diagram navrhnutého systému.

8.1 Google cloud

Google cloud je ponúkaný spoločnosťou Google. Je to sada cloudových výpočtových služieb, ktoré fungujú na rovnakej infraštruktúre, ktorú Google interne používa pre svoje produkty ako sú Gmail, vyhľadávanie Google, ukladanie súborov a YouTube. [46]

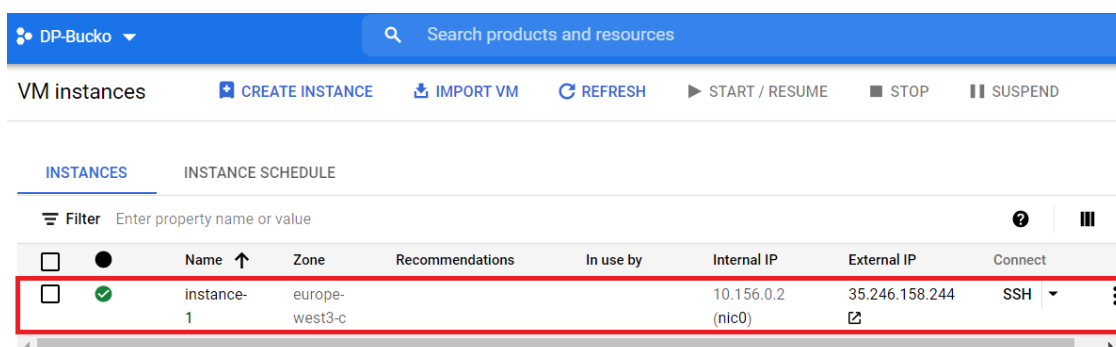
Okrem množstva nástrojov na spravovanie poskytuje sériu modulárnych cloudových služieb vrátane výpočtovej techniky, ukladania dát, analýzy dát a strojového učenia (odvetvie umelej inteligencie). [47]

8.1.1 Virtuálny počítač

Virtuálny počítač (VM - virtual machine) je digitálna verzia fyzického počítača. [48] Jeho softvér ponúka viacero možností použitia ako sú spúšťanie programov, monitorovanie systému, ukladanie údajov alebo pripájanie sa k sieťam a vykonávanie ďalších výpočtových funkcií.

Virtuálny počítač je základom virtuálnych výpočtových zdrojov a hrá primárnu úlohu pre vytváranie akýchkoľvek aplikácií, nástrojov alebo zariadení, ktoré sú dostupné online aj lokálne.

Z dôvodu riešenia ukladania, vizualizácie a interpretácie nameraných dát online bol vytvorený tento virtuálny počítač na školskom Google účte.



	Name	Zone	Recommendations	In use by	Internal IP	External IP	Connect
<input type="checkbox"/>	instance-1	europe-west3-c			10.156.0.2 (nic0)	35.246.158.244	SSH

Obr. 8.2: Vytvorenie virtuálneho počítača v Google Cloud.

Po vytvorení virtuálneho počítača mu bola priradená IP adresa, pomocou ktorej sa dá k nemu pripojiť. Na Obr. 8.2 je vidieť na školskom Google účte vytvorený virtuálny počítač a údaje o ňom vrátane jeho IP adresy. Pre pripojenie naň sa využíva funkcia v počítači, ktorá slúži pre pripojenie vzdialenej pracovnej plochy. Po zadaní IP adresy daného virtuálneho počítača a následnom pripojení je potrebné sa prihlásiť pomocou nastavených prihlasovacích údajov.

<input type="checkbox"/>	Name	Type	Targets	Filters	Protocols / ports	Action	Priority	Network	Logs
<input type="checkbox"/>	all2	Egress	Apply to all	IP ranges: 0.0.0.0/0	all	Allow	1000	default	Off
<input type="checkbox"/>	all1	Ingress	Apply to all	IP ranges: 0.0.0.0/0	all	Allow	1000	default	Off
<input type="checkbox"/>	default-allow-http	Ingress	http-server	IP ranges: 0.0.0.0/0	tcp:80	Allow	1000	default	Off
<input type="checkbox"/>	default-allow-https	Ingress	https-server	IP ranges: 0.0.0.0/0	tcp:443	Allow	1000	default	Off
<input type="checkbox"/>	grafana	Ingress	Apply to all	IP ranges: 0.0.0.0/0	tcp:3000 udp:3000	Allow	1000	default	Off
<input type="checkbox"/>	mosquitto	Ingress	Apply to all	IP ranges: 0.0.0.0/0	tcp:1883 udp:1883	Allow	1000	default	Off
<input type="checkbox"/>	plc	Ingress	Apply to all	IP ranges: 0.0.0.0/0	tcp:61682 udp:61682	Allow	1000	default	Off

Obr. 8.3: Povolenie jednotlivých portov pre vzdialený prístup k programom.

Po nainštalovaní a spustení všetkých programov a procesov na tomto virtuálnom počítači bolo potrebné v nastaveniach virtuálneho počítača na školskom Google účte povoliť v bráne Firewall potrebné porty, ktoré využívajú jednotlivé programy. Tieto povolenia portov sú zobrazené na Obr. 8.3 a sú dôležité pre správnu komunikáciu medzi jednotlivými programami. Napríklad webová aplikácia Grafana beží na porte 3000 a po zadaní IP adresy virtuálneho počítača a tohoto portu Grafany do akéhokoľvek prehliadača na každom zariadení (počítač, tablet alebo mobilný telefón) sa s pripojením na internet dá dostať k nameraným dátam online.

8.2 Komunikačný protokol MQTT

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) je jednoduchý M2M (Machine to Machine)/IoT komunikačný protokol slúžiaci na vzájomnú výmenu správ medzi zariadeniami cez centralizovaný bod, nazývaný broker. Bol vytvorený v roku 1999 dvomi programátormi (Dr. Andy Stanford-Clard (IBM) a Arlen Nipper (Eurotech)) za účelom riadenia ropovodov.

Vďaka svojej nenáročnosti nepotrebuje pre realizáciu prenosu správ medzi zariadeniami výkonný procesor. Prenos správ prebieha prostredníctvom protokolu TCP a využíva architektúru klient – server. Správy v komunikačnom protokole nie sú viazané na dátový typ.

Pre tento komunikačný protokol bol rezervovaný štandardizačnou organizáciou IANA (Internet Assigned Numbers Authority) port 1883 a port 8883 pre MQTT

cez SSL.

Tento komunikačný protokol MQTT môže byť zabezpečený pomocou TLS a je možné využiť riadenia kvality služieb (QoS) pre naviazané spojenie. Výhodou je, že klient môže byť zároveň odosielateľ aj prijímateľ správ a môže si to upravovať v závislosti na ostatných klientoch. [49]

8.2.1 Spôsob prenosu a delenia správ

Spôsob prenosu nameraných dát je realizovaný pomocou MQTT správ s binárnou hlavičkou a textovým obsahom kódovaným vo formáte UTF-8. Tieto správy najčastejšie prenášajú text, čísla, tabuľky a štruktúry formátované do textového reťazca JSON. Prenos je založený na metóde publikovania (publish) a odoberania (subscribe) správ. Hlavnú úlohu komunikácie pomocou protokolu MQTT zohráva broker, ktorý sa nachádza na strane servera. Jeho úlohou je príjem publikovaných správ a následné rozosielanie iným užívateľom, prípadne ukladanie poslednej správy obsahujúcej namerané dáta.

PLC, ku ktorému sú pripojené snímače, je pripojené cez Ethernetový port do siete a využíva metódu publikovania. Následne sa z PLC odošle správa obsahujúca namerané dáta, ktorá je zaradená pod určitú tému (topic) na server, kde beží broker. Broker zo svojho zoznamu koncových zariadení (klientov) zistí, ktoré zariadenia si zažiadali o odber danej témy a tým je prijatá správa preposlaná. V tomto prípade je koncovým zariadením databáza, do ktorej sa správa s nameranými dátami uloží. Jednotlivé koncové zariadenia môžu publikovať aj odoberať niekoľko tém zároveň, prípadne publikovať správy do odoberaných tém.

Pre lepší prehľad sú správy obsahujúce namerané dáta (hodnoty) organizované do tém, ktoré rozlišujú, o akú hodnotu sa jedná. Preto každá správa musí mať vlastnú tému a okrem správ môže obsahovať jedno alebo viac podtém. Štruktúra tém je hierarchická a je tvorená na základe prijatých správ od klientov, kde sa okrem hodnoty nachádza aj zaradenie do témy. Nemusí byť pevne definovaná a nie je potrebné ju predom definovať. Jednotlivé úrovne tém sú oddelené znakom "/".

Vytváranie jednotlivých tém sa rieši v prípade, ak je systém zložitejší pre lepšiu prehľadnosť nameraných dát. Inými slovami ak by bolo k PLC pripojených viacero snímačov z rôznych miestností, prípadne budov.

8.2.2 MQTT Broker

Hlavným a nevyhnutným centrálnym bodom celej komunikácie modulov s akčnými členmi pomocou komunikačného protokolu MQTT je broker (sprostredkovateľ). Po pripojení PLC k brokerovi je jeho hlavnou úlohou prijímať namerané dáta a rozposielať ich klientom, ktorí o to vopred požiadali. Prípadne môže prijaté dáta

uložiť do doby, kým nepríde nová správa s ďalšími dátami. Existuje viacero MQTT brokerov, niektoré môžu byť aj platené. Všetky sú však veľmi podobné. V tejto diplomovej práci bol použitý MQTT broker Eclipse Mosquitto.

Eclipse Mosquitto

Eclipse Mosquitto patrí medzi najrozšírenejší open source softvér, slúžiaci k realizácii MQTT brokera [50]. Medzi jeho hlavné výhody patrí možnosť konfigurácie mnohých parametrov a podpora rôznych operačných systémov, ako je MS Windows, Linux, macOS a iOS. Z dôvodu kontinuálnej prevádzky tohto softvéru je potrebné brať ohľad na spotrebu energie. Najčastejšie používané platformy využívajúce tento broker v domácom prostredí sú Raspberry Pi alebo routre. Jeho výhodou je jednoduchosť a okrem klasických klientov podporuje aj tzv. bridge mode. To umožňuje spojenie s iným MQTT serverom, čo vedie k zostaveniu sietí serverov a tak môže distribuovať správy na vzdialené pripojenia.

Pre účel spracovania nameraných dát a následného uloženia do databázy PostgreSQL bol na server nainštalovaný a spustený softvér Eclipse Mosquitto. Tento softvér prijíma správy obsahujúce namerané dáta a posiela ich do databázy, kde sa následne uložia. Eclipse Mosquitto je akýmsi sprostredkovateľom komunikácie medzi PLC a danou databázou.

8.2.3 Kvalita služieb prenášaných správ

Komunikačný protokol MQTT ponúka kvalitu služieb (QoS – Quality of Service) prenášaných správ. Kvalita služieb definuje spôsob, akým má byť správa doručená a ako má byť zaistená spoľahlivosť doručenia. Každý typ správy si vyžaduje rozdielne zaistenie spoľahlivosti doručenia. Ak sa jedná napríklad o správu nesúcu informáciu s nameranými dátami (teplota, relatívna vlhkosť a CO₂), ktorá bude zasielaná každých 10 sekúnd, nebude vadiť, pokiaľ nejaká správa nebude doručená, pretože ju nahradí nová správa. Opakovanie a potvrdzovanie správ by viedlo k zbytočnému zaťaženiu siete a vo výsledku by to bolo kontraproduktívne. Preto je potrebné vhodne vybrať úroveň spoľahlivosti prenosu. Čím vyššia je úroveň spoľahlivosti prenosu, tým je väčšie zaťaženie siete kvôli prenosu potvrdzovacích správ i opakovaní prenosu správ. Z tohto dôvodu komunikačný protokol MQTT ponúka tri úrovne QoS [51]:

- **úroveň 0 (at most once)** – Prijatá správa nie je potvrdzovaná príjemcom a ani odosielateľ správ ju nijako neukladá. Pri tejto úrovni sa odporúča stabilné káblové spojenie alebo ak nezáleží na strate niekoľkých správ.
- **úroveň 1 (at least once)** – Zaručenie najmenej jednej doručenej správy. To znamená, že táto správa môže byť doručená viackrát. Po doručení správy

príjemca odošle potvrdzovací paket PUBACK obsahujúci identifikátor prijatého paketu. Paket sa odošle znova, ak odosielateľ neobdrží v stanovenom čase potvrdzovací paket. V prípade straty potvrdzovacieho paketu dôjde k situácii, kedy príjemca obdrží správu viackrát. Je to najčastejšie používaná úroveň, pretože zaručuje obdržanie každej správy.

- **úroveň 2 (exactly once)** – Práve raz zaistí obdržanie správy. Odosielateľ čaká po odoslaní správy na potvrdenie (rovnako ako pri úrovni 1). Po prijatí potvrdzovacieho paketu PUBREC sa vyradí stav znovu odosielania správy a odošle sa paket PUBREL. Po prijatí paketu PUBREL príjemca oznámi odosielateľovi kompletný prenos správy paketom PUBCOMP. V prípade straty paketu je odosielateľ zodpovedný za znovu odoslanie posledného paketu. Tým sa predíde duplikovaniu správ.

Ďalej tieto správy broker rozošle odberateľom s rovnakou úrovňou, s akou ju prijal. V prípade, ak odberateľ nepodporuje danú úroveň, dôjde k zmene úrovne, ktorú podporuje. Taktiež sa dá nastaviť pomocou príznaku retain to, či má broker správu po preposlaní odberateľom zmazať alebo uchovať. V prípade tejto diplomovej práce je pre kvalitu služieb použitá úroveň 0. Odosielanie nameraných dát je v krátkom časovom intervale a preto nevadí, ak nejaká správa nebude doručená, pretože ju nahradí nová správa.

8.3 Databáza PostgreSQL

PostgreSQL je objektovo relačný databázový systém s otvoreným zdrojovým kódom (open source), ktorý je aktívne vyvíjaný od roku 1986 na čele s Kalifornskou univerzitou v Berkeley [52]. Patrí medzi voľne dostupné licencie a podporuje rôzne operačné systémy ako MS Windows, UNIC, Linux a Mac OS X. Má plnú kompatibilitu s ACID (nedeliteľnosť, validita, izolácia, trvanlivosť), čo sú vlastnosti nutné pre transakčné spracovanie [52].

Táto databáza používa a zároveň rozširuje jazyk SQL spolu s mnohými funkciami, ktoré zabezpečujú ukladanie aj tých najkomplikovanejších dát. Umožňuje spustiť kód priamo na serveri a tým zrýchliť a zjednodušiť prácu s dátami.

Funkcie môžu byť zabudované v jazyku PL/pgSQL, ktorý je podobný procedurálnemu jazyku PL/SQL od spoločnosti Oracle. Ďalej bežnými používanými jazykmi vo funkciách sú Python (PL/Python), PHP (plPHP), C, C++, Java (PL/Java) a iné. Táto databáza umožňuje funkciám vracaať celé tabuľky alebo ich časti, čím umožňuje vytvorenie vlastných agregáčnych a okenných (window) funkcií.

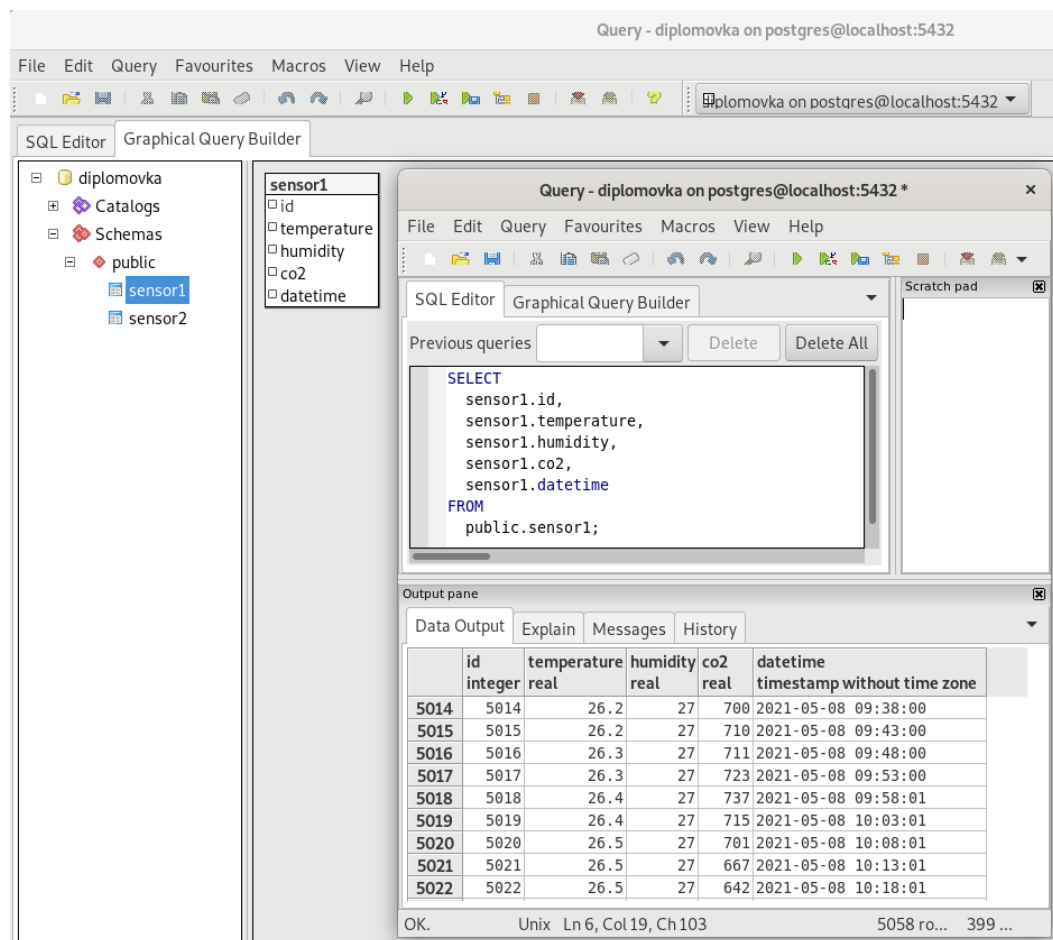
Oproti klasickým relačným databázam sa líši len minimálne. So staršími verziami MySQL sa odlišuje podporou niektorých NoSQL funkcií. To je dôvodom, prečo sa nazýva objektovo relačným databázovým systémom. V súčasnosti táto odlišnosť

neplatí, nakoľko NoSQL koncepty (ako formát JSON alebo dokumentový sklad) sú od verzie 5.7 súčasťou „klasického“ MySQL. V tejto diplomovej práci sa odosielaajú a následne ukladajú namerané dáta do tejto databázy PostgreSQL vo formáte JSON.

Na vývoji tejto databázy sa podieľa viacero firiem a vývojárov. Z tohto dôvodu nie je táto databáza vlastnená len jednou firmou.

8.3.1 Ukladanie dát

Ukladanie dát do databázy PostgreSQL je vo forme tabuliek alebo indexov. Tabuľky a indexy sú ukladané v bežných súboroch operačného systému, ktoré sú rozdelené do segmentov s maximálnou veľkosťou 1GB. Každá tabuľka má vlastný súbor, ktorý obsahuje aj dáta záznamov. Avšak index je oddelený súbor, ktorý je zoradený podľa jedného alebo viacerých stĺpcov. Jednotlivé súbory sú rozdelené do blokov o veľkosti niekoľko bajtov. V základnom nastavení to je 8192 bajtov na blok.



Obr. 8.4: Ukladanie nameraných dát do databázy PostgreSQL.

Ďalej sa v týchto blokoch nachádzajú položky podľa toho, či sa jedná o tabuľky alebo indexy. V prípade tabuliek sa tam nachádzajú položky ako n-tice a naopak v prípade indexov sú to indexačné záznamy spolu s metadátami. N-tica je jednoznačne identifikovaná trojicou OID, číslo bloku a posunutie v bloku. [53]

Na Obr. 8.4 je vidieť, ako sa odoslané namerané dáta na server ukladajú do databázy PostgreSQL, ktorá beží na danom serveri. V tejto databáze boli vytvorené dve zložky. Jedna zložka reprezentuje hodnoty namerané senzorom 1 a druhá senzorom 2. Po otvorení zložky so senzorom 1 (na Obr. 8.4 pod názvom "sensor1") sa otvorí okno, kde je vidieť ako sa namerané hodnoty ukladajú do tabuľky.

Formát JSON

JSON (JavaScript Object Notation) je jazykovo nezávislý textový formát, ktorý bol odvodený z JavaScriptu. Využíva konvencie jazykov C, C++, Java, JavaScript, Python a mnoho iných. Tieto vlastnosti robia z tohto formátu ideálny jazyk na výmenu údajov. Mnoho programovacích jazykov obsahuje kód na generovanie a analýzu údajov vo formáte JSON. Názvy súborov JSON sú označované príponou .json.

```
{"Teplota_1": 26.7, "Teplota_2": 28.9, "Vlhkost_1": 20.0, "Vlhkost_2": 15.0,
"C02_1": 430.0, "C02_2": 398.0, "Cas": "08.05.2021 14:23:01"}
{"Teplota_1": 26.7, "Teplota_2": 29.0, "Vlhkost_1": 24.0, "Vlhkost_2": 16.0,
"C02_1": 579.0, "C02_2": 436.0, "Cas": "08.05.2021 14:28:01"}
{"Teplota_1": 26.8, "Teplota_2": 28.9, "Vlhkost_1": 21.0, "Vlhkost_2": 15.0,
"C02_1": 566.0, "C02_2": 439.0, "Cas": "08.05.2021 14:33:01"}
```

Obr. 8.5: Zobrazenie prijímaných nameraných dát na server vo formáte JSON.

Tento formát JSON je otvorený štandardný formát súborov slúžiaci na výmenu údajov. Je ľahko čitateľný a používa sa pre prenos dátových objektov pozostávajúcich z atribút – dvojice hodnôt a dátové typy poľa (prípadne iné hodnoty).

Patrí medzi bežný dátový formát s rozmanitou škálou aplikácií, napr. ako náhrada za XML v systémoch AJAX. [54]

Je postavený na dvoch univerzálnych štruktúrach:

1. Súbor dvojíc názov – hodnota. Táto štruktúra môže znamenať v každom programovacom jazyku niečo iné, napr. objekt, adresár, záznam, štruktúra, asociatívne polia a podobne.
2. Usporiadáný zoznam hodnôt. Vo väčšine programovacích jazykov je to pole, vektor, zoznam alebo postupnosť.

Obe z týchto štruktúr prakticky podporuje každý programovací jazyk.

8.4 Webová aplikácia Grafana

V tejto práci je na vizualizáciu a interpretáciu dát využitý zobrazovací nástroj Grafana. Grafana je multiplatformová webová aplikácia pre analytiku a interaktívnu vizualizáciu s otvoreným zdrojovým kódom [55]. Tento nástroj slúži pre vizualizáciu a monitorovanie časových radov (time series data). Namerané dáta sa zobrazujú v paneloch, ktoré sú pridané do dashboardu („nástenky“), do ktorých možno vkladať grafy či budíky s konkrétnymi hodnotami ako to je znázornené na Obr. 8.6.



Obr. 8.6: Ukážka webovej aplikácie Grafana.

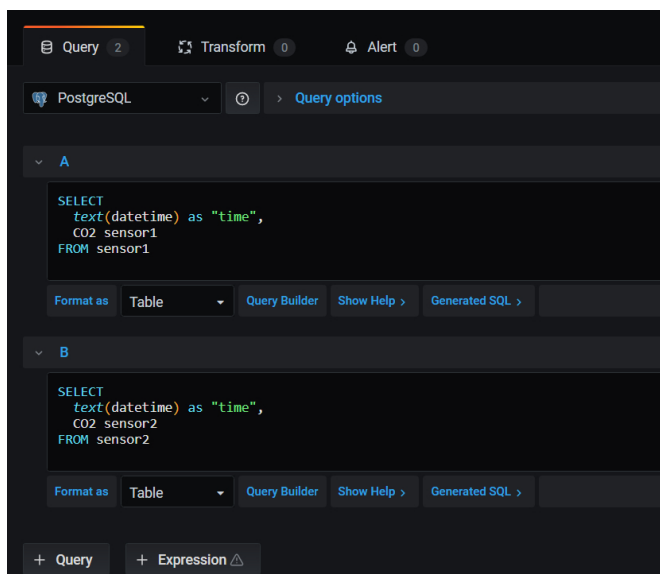
V ľavej časti Obr. 8.6 sa nachádzajú vykreslené grafy z nameraných hodnôt po dobu 24 hodín. V strednej časti sa nachádzajú budíky s aktuálnymi nameranými hodnotami a na pravej časti sú grafy vykreslené v časovom intervale 7 dní. Tieto panely sú nasledovne rozdelené do troch riadkov. Vo vrchnom riadku panelov sa nachádza koncentrácia CO₂, v strednom to je relatívna vlhkosť a v spodnom riadku panelov sa nachádza teplota.

Typy panelov sa dajú dodatočne doinštalovať pomocou príkazového riadka [56]. Grafana obsahuje celú radu zdrojov dát pre vizualizáciu. V základnej inštalácii možno nájsť mnou použité PostgreSQL alebo iné, ako InfluxDB, MySQL a pod. V prípade, že užívateľovi tieto predinštalované zdroje údajov nestačia je možné aj v tomto prípade doinštalovať ďalšie.

Tento nástroj je možné prevádzkovať viacerými spôsobmi. Jedným z nich je na inštalovanie ako samostatný program (bezplatná verzia) a druhým je použitie pla-

tenej verzii Grafana Cloud. V tejto práci je použitá bezplatná verzia Grafany. Grafana rovnako ako aj ostatné programy (Eclipse Mosquitto a PostgreSQL) pracuje na vzdialenom serveri. Po zadaní IP adresy servera a portu, na ktorom beží Grafana do prehliadača a následnom prihlásení sa do účtu je možné si pozrieť danú vizualizáciu nameraných dát zo snímačov.

Pre vizualizáciu a interpretáciu nameraných dát sú využité dva typy panelov, a to Graph (spojnicový graf) a Gauge (rozsahové meradlo), ako je možné vidieť na Obr. 8.6. Každému panelu je potrebné nastaviť zdroj dát, odkiaľ má vyberať namerané dáta, ktoré ma zobrazovať. Nastavenie zdroja dát je zobrazené na Obr. 8.7.



Obr. 8.7: Nastavenie zdroja dát (v tomto prípade pre koncentráciu CO₂).

Ďalej bol použitý takzvaný real-time mód, ktorý zobrazuje všetky grafy aktualizované o nové namerané hodnoty v zadanom intervale (v tomto prípade to je každých 5 minút). Pod jednotlivými grafmi možno vidieť priemer hodnôt (označenie Avg), ktorý sa stále aktualizuje po vykreslení novej hodnoty do grafov.

Grafana má viacero vlastností, ktoré umožňujú narábanie s dátami. Napríklad umožňuje využitie metadát pre filtrovanie hodnôt v zobrazovaných grafoch alebo umožňuje kontrolovať prekročenie určitých nastavených medzí. Pokiaľ nameraná hodnota prekročí nastavenú medznú hodnotu, odošle sa užívateľovi správa vo forme e-mailu o stave. Pre správnu funkciu e-mailového upozornenia je potrebné mať správne nakonfigurovaný SMTP server.

9 Možnosti použitia pre zníženie energetickej náročnosti budov

V dnešnej dobe sú budovy zodpovedné za viac ako jednu tretinu globálnej konečnej spotreby energie a takmer 40 % celkových priamych a nepriamych emisií CO₂. [57] V budúcnosti sa očakáva nárast energetickej náročnosti budov v dôsledku populačného rastu a zvýšenia úrovne mechanizácie v budovách ako sú napríklad systémy HVAC a pod. Ukázalo sa, že tieto systémy, ktoré majú zlepšiť vnútorný komfort budov pri nesprávnej obsluhu, strácajú veľké množstvo energie.

V dôsledku zvyšovania úrovne mechanizácie budov a dosiahnutia efektívneho riadenia technológií budov zohrávajú dôležitú úlohu údaje z rôznych senzorov. Tieto údaje napomáhajú k lepšej obsluhu zariadení a tým k obmedzeniu plytvania energiou. To sa stalo v posledných rokoch predmetom intenzívneho výskumu.

V tejto časti budú popísané možnosti využitia použitých snímačov pre zníženie energetickej náročnosti budov. Tým sa dosiahne zníženie nákladov na prevádzku a údržbu, prípadne zníženie emisií CO₂.

9.1 Osvetľovacie systémy

Spravidla existujú dva hlavné spôsoby zníženia svetelnej energie. Jedným z nich je inštalácia vylepšených prístrojov a nových systémov osvetlenia. Napríklad LED je energeticky efektívne zariadenie na vyžarovanie svetla a môže ušetriť približne 50 % spotreby energie oproti žiarivke. Druhým spôsobom je použitie techník ovládania svetiel. Technológia zapnutia/vypnutia založená na senzoroch obsadenosti môže budovám ušetriť 35 % energie. [58]

Osvetľovacie systémy výrazne ovplyvňujú spotrebu elektrickej energie hlavne v dobe zimných mesiacov a energetických špičiek. V priemernej domácnosti sa spotrebuje na svietenie približne 15 – 20 % elektrickej energie. [59]

Dané snímače môžu ovládať osvetľovacie systémy v neobsadených priestoroch – učebne, konferenčné miestnosti, verejné priestory a kancelárie. Podieľajú sa na riadení spotreby osvetľovacích systémov, čo môže významne prispieť k úspore elektrickej energie. Na základe nameraných dát zo snímačov možno spínať jednotlivé osvetľovacie systémy alebo upravovať intenzitu osvetlenia, napríklad pri automatickom riadení svetiel počas pracovnej doby.

Mnohokrát sa stáva, že niekto zabudne pred svojím odchodom z miestnosti zhasnúť svetlá a to vedie k zbytočnému plytvaniu elektrickej energie. Po vhodnom nastavení vyhodnocovania nameraných hodnôt sa dá zistiť, či sa v danej miestnosti niekto nachádza.

Vyhodnocovanie by prebiehalo na základe zmeny koncentrácie CO_2 v danom časovom intervale. Tento interval by obsahoval priemerné hodnoty koncentrácie CO_2 , ktoré by boli vyhodnocované po určitej dobe. Ak sa tieto hodnoty výrazne nezmenia, systém so snímačmi vyhodnotí, že sa v miestnosti nikto nenachádza a vypnú sa svetlá. Medzné hodnoty sa určia z parametrov, ako sú veľkosť miestnosti, počet ľudí v miestnosti a typ vykonávanej činnosti v danej miestnosti.

Použitím samotného snímača by mohlo dôjsť k zlému vyhodnocovaniu namera-
ných hodnôt z dôvodu netesnosti okien alebo dverí, prípadne inými vplyvmi, kedy by dochádzalo k nežiadúcemu prúdeniu vzduchu v miestnosti. Preto by bolo vhodné tento snímač použiť napríklad so senzorom pohybu, ktorý by bol umiestnený pri vstupe do miestnosti. Senzor pohybu by rozsvietil svetlá na začiatku a neskôr by sa o svetlá, či už majú svietiť alebo nie, postarali tieto snímače.

Ďalej možno tieto snímače použiť na správne nastavenie intenzity osvetlenia jednotlivých svetiel v danej miestnosti. Vieme, že ak sa hodnota koncentrácie CO_2 pohybuje v rozmedzí 1000 – 2000 ppm dochádza k únave a človek sa menej koncentruje. Pri stúpajúcich hodnotách koncentrácie CO_2 by sa mohla zvyšovať intenzita osvetlenia a to by viedlo k potlačeniu únavy a zvýšeniu produktivity u ľudí.

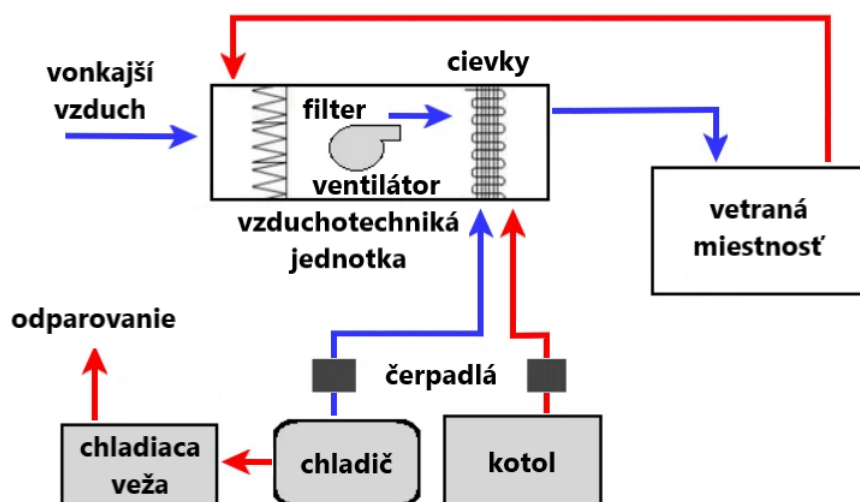
9.2 Systémy HVAC

HVAC je skratka, ktorá zahŕňa vytápanie, vetranie a klimatizáciu. HVAC je systém zabezpečujúci environmentálne pohodlie vo vnútri budov. Jeho cieľom je zabezpečiť tepelnú pohodu a prijateľnú kvalitu vzduchu vo vnútorných priestoroch budov. Pracuje na princípe ohrievania a ochladzovania vzduchu, prípadne jeho distribúcie do vybraných miest v budove. V súčasnosti sú systémy HVAC zodpovedné za 15 - 60 % celkovej spotreby energie v budove v závislosti na ich použití. [60]

V súčasnej dobe sa tieto systémy uplatňujú v moderných kancelárskych, výrobných alebo vývojových budovách. Hlavným účelom systému HVAC je úprava privádzaného vonkajšieho vzduchu na požadované podmienky obývaných budov. Vonkajší vzduch je nasávaný dovnútra budovy a je ohrievaný alebo chladený v závislosti od týchto podmienok.

Ďalej tento systém znižuje prevádzkové náklady budov a úspory energie [61]. Pre zaistenie optimálneho prostredia zohrávajú kľúčovú rolu snímače. Najdôležitejšie sú snímače teploty, relatívnej vlhkosti, tlaku a termostaty. Na Obr. 9.1 je vidieť schematický diagram vysvetľujúci základné funkcie systému HVAC.

V článku [62] sa uvádza, že k systémom HVAC je možné použiť senzory na meranie relatívnej vlhkosti. Snímače v tejto práci zahŕňajú aj meranie relatívnej vlhkosti a preto by sa dali použiť pre optimálne riadenie HVAC systému. Sensory by monitorovali kvalitu vnútorného ovzdušia a upravovali ju pomocou tohoto systému. Boli



Obr. 9.1: Základná schéma systému HVAC [63].

by pripojené k riadiacej jednotke HVAC a zapínali by sa len v prípade potreby, čo by viedlo k zníženiu doby prevádzky a energetickej náročnosti budovy.

9.2.1 Vzduchotechnika a klimatizácia

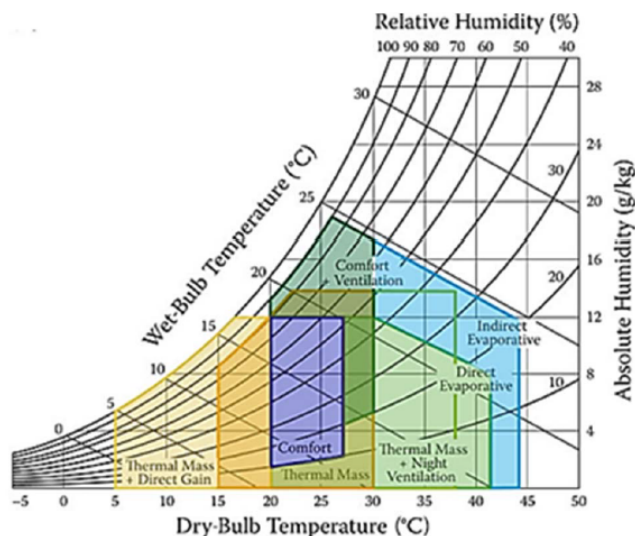
Cielom vzduchotechniky je výmena vzduchu vo vnútri budov za čerstvý vzduch, ktorý je nasávaný z vonkajšieho prostredia. Vonkajší vzduch je dopravovaný do vnútra budov pomocou potrubí a ventilátorov. To zaisťuje lepšiu kvalitu vnútorného vzduchu a zahŕňa odvádzanie vlhkosti, prachu, oxidu uhličitého ako aj reguláciu teploty a dopĺňovanie kyslíka.

Pomocou snímačov môže byť uvedenie systému vzduchotechniky do režimu zníženej prevádzky počas nočných hodín alebo riadené vypnutie v prípade požiaru. V prípade, ak užívateľ otvorí okno na získanie väčšieho množstva čerstvého vzduchu, zistia to senzory pripojené k ventilačnému systému riadeného podľa potreby a podľa toho znížia mechanické vetranie.

Klimatizácia spadá pod vzduchotechniku a je to technológia slúžiaca k úprave privádzaného a odvádzaného vzduchu. Upravuje podmienky teploty, relatívnej vlhkosti a čistoty vzduchu vo vnútorných priestoroch. Používa sa tiež v priemyselných budovách na zabezpečenie správnej činnosti zariadení alebo strojov, ktoré musia pracovať v konkrétnych podmienkach. Ďalej sa môže využívať na vykonávanie určitých priemyselných procesov, ako je zváranie, pri ktorom vzniká značné množstvo tepla, ktoré je potrebné zredukovať. Klimatizácia v priemyselných budovách vyžaduje vyššiu presnosť pokiaľ ide o reguláciu teploty a relatívnej vlhkosti.

Na Obr. 9.2 je znázornenie komfortnej zóny podľa normy ASHRAE Standard 55

s teplotami v rozmedzí od 20 do 27 °C a relatívnou vlhkosťou v rozmedzí 8 % do 80 %. [64]



Obr. 9.2: Znázornenie komfortnej zóny podľa normy ASHRAE Standard 55 [64].

Klimatizačný systém musí byť účinný bez ohľadu na vonkajšiu klímu a musí kontrolovať teplotu, vlhkosť pohybu a kvalitu vzduchu [65]. Rôzne typy klimatizačných systémov môžu na základe svojho prevedenia plniť tieto funkcie [66]:

- filtrácia vzduchu,
- výmena vzduchu s odvozom škodlivín,
- ohrievanie alebo ochladzovanie vzduchu,
- zvlhčovanie a odvlhčovanie vzduchu.

Podľa nameraných dát zo snímačov je možné si ideálne nastaviť zapínanie a vypínanie týchto jednotlivých funkcií podľa vlastnej potreby.

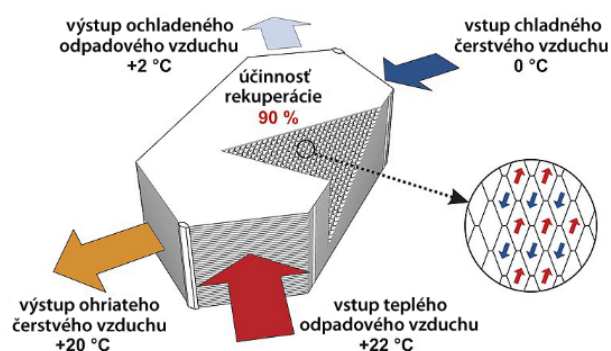
9.2.2 Vytápanie a rekuperácia

Zníženie spotreby energie vo verejných budovách je možné znížením teploty vytápania počas nepracovných hodín. Prípadne zníženie alebo úplne vypnutie vytápania pri otvorení okna alebo dverí, predíde úniku teplého vzduchu von z miestnosti teda zbytočným tepelným stratám.

Rekuperácia alebo aj spätné získavanie tepla je jednou z možností ako do vnútorných priestorov budov zabezpečiť prísun vonkajšieho čerstvého vzduchu a minimalizovať tepelné straty. Pracuje na princípe predhrievania vonkajšieho čerstvého vzduchu a ochladzovania vnútorného odpadového vzduchu. Privádzaný vzduch z vonkajšieho prostredia prechádza cez rekuperačný výmenník nachádzajúci sa vo vnútri

vzduchotechnickej jednotky, do ktorého z druhej strany vstupuje odpadný vzduch z vnútra budovy [67].

Odvádzaný odpadný vzduch odovzdá väčšinu svojho tepla privedenému čerstvému vzduchu. Aby nedochádzalo k spätnému prenikaniu pachov a relatívnej vlhkosti z odvádzaného odpadového a privedeného čerstvého vzduchu sú vo výmenníku od seba dokonale oddelené sústavou kanálikov. Na Obr. 9.3 je vidieť princíp rekuperačného výmenníka.



Obr. 9.3: Schéma princípu rekuperačného výmenníka [67].

Použitie rekuperácie dosahuje vysokej účinnosti odovzdávania tepla a to až 90 % v závislosti od výrobcu. Pri prirodzenom vetraní, resp. vetraní otvoreným oknom je účinnosť rovná nule. Pri tomto vetraní dochádza k výmene vonkajšieho a vnútorného vzduchu bez akéhokoľvek úžitku. Teplota vo vnútri budovy sa zmení na vonkajšiu teplotu, čo je veľmi neefektívne, pretože dochádza k tepelným stratám. V zimnom období sa to prejaví nutnosťou vyššieho ohrievania vzduchu a naopak v teplom období vyššieho ochladzovania vzduchu v miestnosti.

Snímače, ktoré monitorujú a vyhodnocujú kvalitu vnútorného prostredia by sa prepojili s ventilátormi, ktoré by sa zapínali len v prípade, ak by kvalita vnútorného vzduchu klesla pod nastavenú hodnotu. Tým sa zvýši kvalita vnútorného ovzdušia a zníži spotreba energie na vytápanie. Znížením energie na vytápanie sa znížia celkové náklady budovy.

V článku [68] je navrhnutý riadiaci systém pre malé budovy, ktorý umožňuje regulovať teplotu a koncentráciu CO_2 v jednotlivých budovách s rekuperačnou jednotkou a tepelným čerpadlom. Teplota a koncentrácia CO_2 v je udržiavaná v jednotlivých miestnostiach v požadovaných medziach vzduchovými klapkami vo ventilačných potrubíach pripojených k rekuperačnej jednotke.

Ďalej sa v tomto článku [68] píše, že počas zimných mesiacov nebude výkon potrebný na vytápanie rekuperačnej jednotky dostatočný a bude ho musieť dodávať

tepelné čerpadlo v kombinácii s podlahovým kúrením riadeným vyvinutým riadiacim systémom.

9.3 Automatické tienenie okien

Ďalším spôsobom ako využiť tieto snímače je prepojenie týchto snímačov s pohonom vonkajších okenných roliet a tak zabrániť priamemu dopadajúcemu slnečnému žiareniu. Dopadajúce slnečné žiarenie cez okná spôsobuje zvýšenie teploty vzduchu vo vnútri budov aj okamžitého tepelného vnímania človeka.

Automatické zatiahnutie roliet na slnkom zaliatej strane budovy môže výrazne znížiť spotrebu energie na chladenie v teplých mesiacoch. Naopak v zimných mesiacoch počas slnečných dní môžu byť vonkajšie okenné rolety vytiahnuté a dopadajúce slnečné žiarenie cez okná sa bude podieľať na zvýšení teploty vnútorného vzduchu. To môže viesť k zníženiu nákladov na vytápanie počas zimných mesiacov. V chladných obdobiach približne 76 % slnečného žiarenia dopadajúceho na štandardné dvoj-sklenné okná prestupuje do budov vo forme tepla [69].

9.4 Hospodárske a poľnohospodárske budovy

Automatizácia hospodárskych budov v Dánsku sa primárne zaoberala riadením vnútornej klímy v stajniach pre hospodárske zvieratá, pretože vnútorná klíma má hlavný dopad na dobré životné podmienky a správanie zvierat [70]. Dobré životné podmienky zvierat a ich správanie majú priamy vplyv na kvalitu vyprodukovaného mäsa. Napríklad, ak sú ošipané chované v príliš chladných klimatických podmienkach, zvyčajne budú jesť viac a namiesto mäsa budú produkovať vyššiu hladinu tuku [71]. Na druhej strane, ak zlyhá regulátor klimatizácie a vnútorná teplota sa bude naďalej zvyšovať, môže to viesť k úmrtiu hospodárskych zvierat. Vnútorná klíma hospodárskych budov je charakterizovaná teplotou, relatívnou vlhkosťou a koncentráciou CO₂ [72].

Vetrание v stajniach sa vykonáva odvádzaním vzduchu cez strešné ventilátory a vzduch vstupuje cez namontované otvory na stene. Väčšina hospodárskych budov je vybavených vykurovacím a chladiacim systémom [72].

Aby bola zabezpečená vysoká kvalita poľnohospodárskych výrobkov, je dôležité udržiavať správnu a presnú teplotu a vlhkosť v sklade počas skladovania. Biologické procesy počas skladovania poľnohospodárskych výrobkov vyvolávajú spontánne stúpajúcu teplotu, ktorá je veľmi nežiadúca [73][74]. Automatizácia poľnohospodárskych budov pomáha udržiavať požadovanú teplotu a vlhkosť pre správne skladovanie. Namerané dáta napr. kolísanie teploty alebo rýchlosť teplotných zmien sú

veľmi dôležité počas skladovania. Tieto dáta nám môžu potvrdzovať, že produkt bol skladovaný správnym spôsobom, a teda jeho certifikátom kvality. [75]

Článok [75] sa zaoberá navrhovaním systému na meranie teploty a relatívnej vlhkosti s riadením klapiek ventilátorov v skladoch poľnohospodárskych výrobkov. Tieto snímače sú pripojené k regulátorom a umiestnené v blízkosti prívodu vzduchu (zvonku a zvnútra budovy) a v šachtách prúdenia vzduchu. Dáta zhromažďované z týchto senzorov sa používajú na regulovanie teploty a vlhkosti vo vnútri skladov. Potom možno použiť ventilátory a klapky na vynútenie správneho prúdenia vzduchu a tým aktívne ovplyvňovať klímu v sklade.

Udržiavanie ideálnej vnútornej klímy v poľnohospodárskych budovách súvisí nielen so skladovaním, ale aj s pestovaním poľnohospodárskych plodín. Niektoré druhy ovocia a zeleniny potrebujú konkrétne podmienky vnútornej klímy pre správne pestovanie. Preto sa tieto snímače môžu používať na úpravu a udržiavanie ideálnych podmienok pre rast poľnohospodárskych plodín.

Snímače sa používajú na upravovanie mikroklimy v interiéroch a majú priamy vplyv na pestovanie, využitie krmiva a dobré životné podmienky [76][77]. Udržiavajú vnútornú klímu na požadovanej úrovni v prostredí s horúcim a vlhkým podnebí (napr. v Kolumbii). Ďalej v prostrediach, kde sú úrovne relatívnej vlhkosti prirodzene vysoké a nútia výrobcov neustále čistiť budovy, aby sa znížilo riziko kontaminácií plesňami [78] a rastu patogénnych mikroorganizmov [79], ktoré spôsobujú ochorenia u rastlín, živočíchov a ľudí.

9.5 Vnútorné športoviská

Použitie týchto snímačov je dôležité aj vo vnútorných priestoroch, kde dochádza k zvýšenej fyzickej námahe. Takýmito priestormi môžu byť napríklad športové haly pre rôzne druhy športov, fitness centrá a pod.

V prípade športových hál si vetranie a klimatizácia vyžadujú vysokú rýchlosť výmeny vzduchu. Preto je potrebné venovať osobitnú pozornosť veľkému počtu ľudí počas športových podujatí [80]. Správne použitie snímačov spolu s klimatizáciou a vetraním by mali zabezpečiť nízku spotrebu energie na svoju prevádzku a zároveň by mali mať schopnosť správne ochladzovať a vetrať priestor plný športovcov a ich fanúšikov.

Športové haly sú veľmi veľké priestory so špecifickým profilom spotreby energie. Spotreba energie v športových halách úzko súvisí so športovou aktivitou, časovým harmonogramom športového centra, účasťou verejnosti na zápasoch a miestnymi klimatickými podmienkami [81]. Dôležitá je aj regulácia teplôt a úroveň vlhkosti, pretože to ovplyvňuje životnosť parketových podláh.

Športové haly, napríklad ľadové, majú špeciálne požiadavky na vytápanie a chladenie, a preto môže byť dimenzovanie týchto ventilačných systémov z hľadiska požiadaviek na vlhkosť a teplotu náročné. Zabezpečenie uspokojivej vnútornej klímy je v takomto prípade náročnejšie, pretože je potrebná dostatočne nízka teplota na udržanie dobrej kvality ľadu a diváci tiež vyžadujú určitú tepelnú pohodu. V niektorých ľadových halách sa využívajú na úpravu ľadu staré rolby, ktoré spaľujú zemný plyn. Vo väčšine prípadov sa využívajú rolby s elektrickým pohonom. Kombinácia dobrého vetrania a spotreby energie je preto veľmi náročná záležitosť.

Mnoho športovcov má pri vykonávaní športu vo vnútorných priestoroch vysoký pulz, robí veľa rozhodnutí v krátkom čase a je koncentrovaných, aby hrali čo najlepšie. Preto dôležitú rolu vo vnútorných športoviskách zohráva kvalita ovzdušia. V prípade kvality vnútorného ovzdušia u ľadových hál sa odporúča vetrať len mechanicky, vytápať pomocou rekuperačnej jednotky a odvlhčovať vzduch pre správne udržanie ľadu a zníženie hmly.

Môže sa stať, že v starších športových halách neexistuje ventilačný systém, ktorý by dodával čerstvý vzduch a odvádzal starý vzduch, a preto je omnoho horšie v takýchto priestoroch udržať kvalitu vnútorného ovzdušia.

Štúdia v článku [82] zistila, že existujú určité problémy s kvalitou ovzdušia vo veľkých športových zariadeniach. Nevýhodou je, že športové haly majú vysoké stropy a umiestnenie snímačov do vysokej výšky by bolo neefektívne. Dochádzalo by k výrazným rozdielom vnútornej klímy v dolných a horných častiach haly. Okrem iného by niektoré športy neumožňovali umiestnenie snímačov v dolných častiach haly.

Záver

Diplomová práca sa zaoberala efektívnym riadením budov s dôrazom na meranie relatívnej vlhkosti a koncentrácie CO_2 vo vnútornom ovzduší budov. V úvodnej teoretickej časti bola popísaná problematika kvality ovzdušia vo vnútorných priestoroch budov a faktory prispievajúce k znižovaniu kvality vnútorného ovzdušia spolu s dopadom na ľudské zdravie. Pre jednoznačnú definíciu kvality vnútorného ovzdušia boli vymenované dva identifikátory a to relatívna vlhkosť a oxid uhličitý spolu s možnými metódami a snímačmi určenými na ich meranie. Zostavenie meracieho prípravku spolu s ukladaním, vizualizáciou a interpretáciou dát online tvorili praktickú časť.

Samotnému návrhu a prevedeniu meracieho prípravku predchádza popis systému Tecomat Foxtrot pre riadenie jednotiek určených na meranie a popis vývojového prostredia Mosaic od firmy Teco a.s. určeného pre tento riadiaci systém. Pre prípravok boli zvolené prototypy senzorov C-RQ-0600R-CHT merajúce relatívnu vlhkosť, koncentráciu CO_2 a teplotu, podľa ktorých bol vytvorený návrh kompaktného prenosného meracieho zariadenia pozostávajúceho z dvoch krabičiek. Umiestnenie osadenia jednotlivých komponentov bolo zvolené tak, aby bolo prehľadné a nedošlo k ich prekryvu. K meraciemu prípravku bola vytvorená schéma zapojenia jednotlivých krabičiek vzájomne komunikujúcich pomocou prepojovacieho kábla.

Po zhotovení mechanickej a elektrickej časti boli senzory nachádzajúce sa na zariadení pred prvým meraním manuálne kalibrované. Takto nastavené zariadenie bolo umiestnené do dvoch rôznych miestností, kde meralo vyššie uvedené veličiny spolu s meteostanicou Netatmo a prístrojom Testo 535 voľne dostupnými na trhu pre overenie správnosti merania pomocou referencie z týchto komerčných prístrojov.

Po overení funkčnosti meracieho prípravku bolo pristúpené ku automatizácii meracieho procesu. Vzhľadom na pohodlné ovládanie pomocou vzdialeného prístupu a vysokú frekvenciu meraných parametrov počas dňa bolo z hľadiska využiteľnosti a interpretácie dát vhodné zvoliť metódu ich ukladania tak, aby nedošlo k zahlteniu PLC alebo počítača a aby bolo možné k dátam pristupovať odkiaľkoľvek. Z tohto dôvodu bol vytvorený server (virtuálny počítač) komunikujúci prostredníctvom protokolu MQTT s PLC. Na komunikáciu bolo využité rozhranie Eclipse Mosquitto spracovávajúce prijímané dáta, v ktorom bol vytvorený skript pre ukladanie dát do databázy PostgreSQL. Posledným krokom automatizácie bolo vytvorenie užívateľského rozhrania určeného pre vizualizáciu dát do grafov.

V dôsledku zvyšovania úrovne mechanizácie budov a dosiahnutia efektívneho riadenia technológií budov boli popísané možnosti použitia snímačov a s tým spojeného merania pre zníženie energetickej náročnosti budov. Znížením energetickej náročnosti je možné dosiahnuť zníženie nákladov na prevádzku a údržbu, prípadne

zníženie emisií CO₂ budov. Pri niektorých možnostiach použitia snímačov bolo popísané množstvo ušetrenej energie pri ich správnom nastavení s jednotlivými technológiami.

Vytvorené zariadenie môže slúžiť nielen na monitorovanie aktuálnej kvality vnútorného ovzdušia, ale aj na zber a štatistické vyhodnocovanie meraných parametrov z dlhodobého hľadiska vďaka prepojeniu so serverom. Dlhodobým monitorovaním sledovaných veličín spolu s dátami z iných prístrojov by bolo možné identifikovať príčiny a vhodné riešenia slúžiace k zamedzeniu vzniku škodlivých látok vo vnútornom ovzduší a tým k zamedzeniu zvýšenia energetickej náročnosti.

Literatúra

- [1] Česká Republika: *Vyhláška, ktorou sa mení vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požiadavkách na stavby* [online]. In Sbíрка zákonů, Tlačiareň ministerstva vnútra. Február 2012, s. 6, [cit. 23. 12. 2015]. Dostupné z URL: <<https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=6102>>.
- [2] CENTRE, L. H. *Sick Building Syndrome: Causes Effects and Control*. London Hazards Centre True Limited. June 1990, s.94. ISBN 0948974060.
- [3] KOTLÍK, B. *Vnitřní prostředí (Urbanismus a bydlení) – hygienické aspekty* [online]. [cit. 22. 12. 2020]. Dostupné z URL: <<http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/urbanismus-a-bydleni-hygienicke-aspekty>>.
- [4] JONES, A. *Indoor air quality and health* [online]. Atmospheric Environment. 1999, s. 4535–4564, ISSN 13522310, [cit. 22. 12. 2020]. Dostupné z URL: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231099002721>>.
- [5] SLOTOVÁ, K. *Faktory vnútorného ovzdušia budov a ich vplyv na zdravie obyvateľov* [online]. 2010, [cit. 22. 12. 2020]. Dostupné z URL: <http://www.vzbb.sk/sk/urad/narodne_centra/nrc_vo/faktory_vnut_ovzdušia101001.pdf>.
- [6] CIFRINEC, I. *Větrání bytových domů – Základy teorie větrání* [online]. TZB-info. Máj 2010, ISSN 1801-4399, [cit. 22. 12. 2020]. Dostupné z URL: <<https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-bytovych-domu/6507-vetrani-bytovych-domu-zaklady-teorie-vetrani>>.
- [7] ČSN EN 16798-3 – *Energetická náročnosť budov – Větrání budov – Část 3: Větrání nebytových budov – Základní požadavky na větrací a klimatizační zařízení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [8] HAZUCHA, J.; BÁRTA, J. *Nucené větrání s možností rekuperace odpadního tepla v objektech pro vzdělávání*. Státní fond životního prostředí ČR. Január 2010, s. 44,
- [9] ZMRHAL, V. *Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15 665/Z1* [online]. TZB-info. Január 2012, ISSN 1801-4399, [cit. 19. 01. 2020]. Dostupné z URL: <<https://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vetrani->

klimatizace/8239-pozadavky-na-ventraci-obytnych-budov-dle-csn-en\
-15-665-z1>.

- [10] LAUBMANN, D.; HELM, D. *Air Change Measurements Using Tracer Gases: Methods and Results. Significance of air change for indoor air quality* [online]. In Chemistry, Emission Control, Radioactive Pollution and Indoor Air Quality, Chapter 14, Robert Koch-Institut, Epidemiologie und Gesundheitsberichterstattung. Január 2011, s. 42, [cit. 19. 01. 2020]. Dostupné z URL: <<https://edoc.rki.de/bitstream/handle/176904/973/270A2TGPWvv0.pdf>>.
- [11] TISOVČÍK, Peter. *Analýza kvality ovzduší v kancelářských a obytných prostorech* [online]. Brno, 2019. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Doc. Ing. Jan Kořenek, Ph.D. [cit. 19. 01. 2021] Dostupné z URL: <https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=198384>.
- [12] SZÉKYOVÁ, M.; FREESTL, K.; NOVÝ, R. *Větrání a klimatizace*. 1. české vydanie. Bratislava: Jaga Group, 2006. ISBN 80-8076-037-3.
- [13] ASHRAE 62.1-2013. *Ventilation for acceptable indoor air quality*. American Society for Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta.
- [14] FISK, W. J.; LEI-GOMEZ, O.; MENDELL. M. J. *Meta-analyses of the associations of respiratory health effects with dampness and mold in homes*. Indoor Air, 2007, **17**(4), s. 284-296.
- [15] MENDELL. M. J.; MIRER, A. G.; CHEUNG. K.; et al. *Respiratory and allergic health effects of dampness, mold, and dampness-related agents: a review of the epidemiologic evidence*. Environ. Health Perspect. 2011, **119**(6), s. 748-756.
- [16] QUANSAH, R.; JAAKKOLA, M. S.; HUGG, T. T.; et al. *Residential dampness and molds and the risk of developing asthma: a systematic review and meta-analysis*. PloS One, 2012, **7**(11), Article e47526.
- [17] SHENGYI, Tang; CHENGQIANG, Zhi; YUJIE, Fan; WEI, Ye; XSING, Su; XU, Zhang. *Unhealthy indoor humidity levels associated with ventilation rate regulations for high-performance buildings in China*. 2020, s. 1-16, [cit. 19. 01. 2021]. DOI: 10.1016/j.buildenv.2020.106839.

- [18] HAGERHED-ENGMAN, L.; SIGSGAARD, T.; SAMUELSON, I.; et al. *Low home ventilation rate in combination with moldy odor from the building structure increase the risk for allergic symptoms in children*. Indoor Air, 2009, **19**(3), s. 184-192.
- [19] SINGLETON, R.; SALKOSKI A. J.; BULKOW, L.; et al. *Housing characteristics and indoor air quality in households of Alaska Native children with chronic lung conditions*. Indoor Air, 2018, **27**(3), s. 478-486.
- [20] WOLKOFF, P.; SKOV, P.; FRANCK, C.; PEDERSEN, L. N. *Eye irritation and environmental factors in the office environment*. Hypotheses, causes, and a physiological model, Scand J Work Environ Health, 2003, **29**, s. 411-430.
- [21] FARRIS, R. L. *The diagnosis and management of the dry eye*. Ophthalmic Nurs Technol, 1997, **16**, s. 164-174.
- [22] HUSÁK Miroslav. *Měření vlhkosti vzduchu*. [online]. Praha: 2006 [cit. 19. 01. 2021] Dostupné z URL:
<<http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/cviceni/Navody%20na%20cviceni/07.Mereni%20vlhkosti.pdf>>.
- [23] ĎAĎO, Stanislav a Marcel KREIDL. *Senzory a měřicí obvody*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. ISBN 80-01-01500-9.
- [24] MATUŠKA, Tomáš. *Experimentální metody v technice prostředí*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005. s. 39-45 [cit. 19. 01. 2021] ISBN 80-01-03291-4.
- [25] VODA, T. *Snímač kondenzované vlhkosti* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav automatizace, 2015. 51 s., Bakalářská práce. Vedoucí práce: doc. ing. Petr Beneš, Ph.D. [cit. 19. 01. 2021] Dostupné z URL:
<<https://core.ac.uk/download/pdf/30283317.pdf>>.
- [26] HRABAL, P. *Učebnice chemie - oxid uhličitý* [online]. Dostupné z URL:
<http://ucebnicechemie.wz.cz/index.php?sloucenina=oxid_uhlicity>.
- [27] Carbon dioxide. *Centers for Disease Control and Prevention* [online]. U.S. Department of Health and Human Services, 2019, [cit. 19. 01. 2021]. Dostupné z URL:
<<https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0103.html?fbclid=IwAR11U2g4WEDnD6pdkZ8D61zKn73mYfw4XtFBicP3640ZnnQDDJrup6RMo7A>>.

- [28] BBC. *hat happens during photosynthesis?* [online]. [cit. 22. 12. 2020]. Dostupné z URL:
<http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/science/add_ocr_21c/life_processes/plantfoodrev1.shtml>.
- [29] HAZUCHA, J.; BÁRTA, J. *Nucené větrání s možností rekuperace odpadního tepla v objektech pro vzdělávání*. Státní fond životního prostředí ČR, Január 2010, s. 44.
- [30] AGROBAC. *Plícní objemy a jejich měření* [online]. [cit. 28. 12. 2020]. Dostupné z URL:
<<https://galenus.cz/clanky/biochemie/biochemie-fyziologie-plicni-objemy>>.
- [31] MATHAUSEROVÁ, Z. *Význam větrání v budovách* [online]. [cit. 22. 01. 2020]. Dostupné z URL:
<http://www.cklop.cz/2014/02/Mathauserova_Vyznam_vetrani.pdf>.
- [32] BUŠTA, K.; WAGNER, Z. *Oxid uhličitý a možnosti jeho využití I – fyzikální a chemické vlastnosti a jejich využití v praxi* [online]. TZB-info. Apríl 2012, ISSN 1801-4399, [cit. 28. 12. 2020]. Dostupné z URL:
<<https://oze.tzb-info.cz/teorie-obnovitelna-energie/8492-oxiduhlicity-a-moznosti-jeho-vyuziti-i>>.
- [33] ZIKÁN, Z. *Oxid uhličitý - utajený nepřítel* [online]. TZB-info. Február 2011, ISSN 1801-4399, [cit. 19. 01. 2021]. Dostupné z URL:
<<https://vetrani.tzb-info.cz/vnitřni-prostredi/7132-oxid-uhlicityutajeny-nepritel>>.
- [34] VAISALA. *How to measure carbon dioxide* [online]. [cit. 28. 11. 2020]. Dostupné z URL:
<<https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/CEN-TIA-Parameter-How-to-measure-CO2-Application-note-B211228EN-A.pdf>>.
- [35] JESSEL, W. *Gase-Dämpfe-Gasmesstechnik*. Lübeck: Dräger Safety AG Co. KGaA, 2001, ISBN 3-9808076-0-6.
- [36] TECO a.s. *Průručka projektování CFox, RFox a Foxtrot* [online]. 2016, [cit. 15. 12. 2020]. Dostupné z URL:
<https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv00416_01_cfoxrfoxprojektovani_cz>.

- [37] TECO a.s. *Tecomat Foxtrot* [online]. 2015, [cit. 08. 01. 2021]. Dostupné z URL: <http://elektro.tzb-info.cz/12831-proc-je-system-tecomat-foxtrot-tak-oblibeny>.
- [38] TECO a.s. *Programovatelné automaty Tecomat Foxtrot CP-1000, CP-1001, CP-1020* [online]. 2014, [cit. 03. 01. 2021]. Dostupné z URL: https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv00430_01_foxtrot_cp_1000.
- [39] TECO a.s. *Příručka projektování systému FOXTROT* [online]. TXV00411 rev.3.8c. únor 2012, s. 73, [cit. 11. 01. 2021]. Dostupné z URL: http://emeagateway.eu/emea/repozytorium/TXV00411_01_Foxtrot_DesignManual_cz.pdf.
- [40] TECO a.s. *Programovatelné automaty Tecomat Foxtrot* [online]. TXV 00410. 22. vydání, Leden 2014, [cit. 11. 01. 2021]. Dostupné z URL: https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv00410_01_general_foxtrot.
- [41] TECO Advance Automation. *Katalog produktů* [online]. září 2018, [cit. 28. 01. 2021]. Dostupné z URL: <https://www.viola.cz/download/807379766B897D7C79-6B605A5A5A5A5A5A5F61615E-Foxtrot-CZ.pdf&ctype=application/pdf&noattach=1>.
- [42] TECO a.s. *Začínáme v prostředí MOSAIC* [online]. 8. vydání, Duben 2010, [cit. 28. 01. 2021]. Dostupné z URL: https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv00320_01_mosaic_progstart_cz.
- [43] TECO a.s. *Periferní moduly na sběrnici CIB* [online]. TXV 004 13.01. 30. vydání, Září 2020, s. 328-333, [cit. 28. 01. 2021]. Dostupné z URL: https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv00413_01_foxtrot_perifcib_cfox_cz-1.
- [44] SENSIRION AG, The sensor company. *Datasheet SHT21: Humidity and Temperature Sensor IC* [online]. Máj 2014, (Version 4), s. 1-15 [cit. 01. 05. 2021]. Dostupné z URL: https://cz.mouser.com/datasheet/2/682/Sensirion_Humidity_Sensors_SHT21_Datasheet-1511537.pdf.
- [45] ELT SENSOR Corp. *ELT Sensor: Data Sheet for S-300* [online]. November 2015, (Version 2.82), s. 1-11 [cit. 01. 05. 2021]. Dostupné z URL:

- <http://eltsensor.co.kr/2016/file/oem_modules/DS_S-300_v2.81_eng.pdf>.
- [46] Google Cloud. *Why Google Cloud Platform* [online]. Google [cit. 01.05.2021]. Dostupné z URL:
<<https://cloud.google.com/why-google-cloud>>.
- [47] Google Cloud. *Google Cloud Products* [online]. Google [cit. 01.05.2021]. Dostupné z URL:
<<https://cloud.google.com/products/>>.
- [48] Google Cloud. *What is a virtual machine?* [online]. Google [cit. 01.05.2021]. Dostupné z URL:
<<https://cloud.google.com/learn/what-is-a-virtual-machine>>.
- [49] *Introducing the MQTT Protocol - MQTT Essentials: Part 1. Hivemq* [online]. 12.01.2015 [cit. 01.05.2021]. Dostupné z URL:
<<https://www.hivemq.com/blog/mqtt-essentials-part-1-introducing-mqtt/>>.
- [50] Eclipse Mosquitto. *Mosquitto* [online]. 2020 [cit. 01.05.2021]. Dostupné z URL:
<<https://mosquitto.org>>.
- [51] MALÝ, Martin. *Protokol MQTT: komunikační standard pro IoT* [online]. 2016, 2016 [cit. 01.05.2021]. Dostupné z URL:
<<https://www.root.cz/clanky/protokol-mqtt-komunikacni-standard-pro-iot/>>.
- [52] PostgreSQL. *About PostgreSQL* [online]. The PostgreSQL Global Development Group, 2021 [cit. 01.05.2021]. Dostupné z URL:
<<https://www.postgresql.org/about/>>.
- [53] PostgreSQL. *PostgreSQL: The world's most advanced open source database* [online]. The PostgreSQL Global Development Group, 2021 [cit. 01.05.2021]. Dostupné z URL:
<<http://www.postgresql.org>>.
- [54] JavaScript Coder. *A Modern Reintroduction To AJAX* [online]. 2020 [cit. 01.05.2021]. Dostupné z URL:
<<https://www.javascript-coder.com/tutorials/re-introduction-to-ajax/>>.

- [55] Wikipedia, the free encyclopedia. *Grafana* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 10. 05. 2021]. Dostupné z URL: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Grafana>>.
- [56] Grafana Labs. *Grafana Plugins: Data Source* [online]. 2021 [cit. 10. 05. 2021]. Dostupné z URL: <<https://grafana.com/grafana/plugins/?type=datasource>>.
- [57] IEA. *Buildings: A source of enormous untapped efficiency potential*. [online]. 2021 [cit. 10. 05. 2021]. Dostupné z URL: <<https://www.iea.org/topics/buildings>>.
- [58] DILOUIE, Craig. *Estimating Energy Savings with Lighting Controls* [online]. Lighting Controls Association, 2013, 16.09. [cit. 10. 05. 2021]. Dostupné z URL: <<https://lightingcontrolsassociation.org/2013/09/16/estimating-energy-savings-with-lighting-controls/>>.
- [59] LENGYEL, L. *Osvětlovací systémy v ostrovních aplikacích* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 70 s [cit. 10. 05. 2021]. Dostupné z URL: <https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=100728>.
- [60] KUL, Basri. *IP-based smart sensors for energy metering and efficient HVAC infrastructure in buildings* In: 15th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA) [online]. IEEE, 2017, s. 258-261 [cit. 19. 04. 2021]. ISBN 978-1-5090-6690-2, DOI:10.1109/ELMA.2017.7955444.
- [61] PETRÁK, Jiří. *Intelligentní systémy pro správu energií aneb HVAC v budovách*. Inteligentní budovy [online]. Trade Media International, 20.03.2013 [cit. 18. 04. 2021]. Dostupné z URL: <<http://inbudovy.cz/artykul/article/intelligentni-systemy-pro-spravu-energi-i-aneb-hvac-v-budovach/>>.
- [62] SULISTYANTO, Muhammad Priyono Tri; Kurriawan Budi PRANATA a SO-LIKHAN. *Preliminary study of utilizing Internet of Things for monitoring energy use in building to support energy audit process*. In: 2017 4th International Conference on Computer Applications and Information Processing Technology (CAIPT) [online]. IEEE, 2017, s. 1-7 [cit. 19. 04. 2021]. ISBN 978-1-5386-0600-1, DOI: 10.1109/CAIPT.2017.8320705.
- [63] DEYIN, Anup Kumar. *HVAC Systems: Meaning, Objectives, Components, Types, Selection (With PDF)*. [online]. What is Piping. 2021 [cit. 18. 04. 2021].

Dostupné z URL:

<<https://whatispiping.com/heating-ventilation-air-conditioning/-hvac/>>.

- [64] SCHIAVON, Stefano, Tyler HOYT a Alberto PICCIOLI. Web application for thermal comfort visualization and calculation according to ASHRAE Standard 55. *Building Simulation* [online]. 2014, 01-08-2014, 7(4), 321-334 [cit. 16.05.2021]. ISSN 1996-3599. doi: 10.1007/s12273-013-0162-3, Dostupné z URL: <<http://escholarship.org/uc/item/4db4q37h>>.
- [65] What's air-conditioning? *Carel* [online]. CAREL INDUSTRIES S.p.A. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z URL: <<https://www.carel.com/what-s-air-conditioning->>.
- [66] GEBAUER, Günter, Olga RUBINOVÁ a Helena HORKÁ. *Vzduchotechnika*. 2. vyd. Brno: ERA, 2007. s. 146. Technická knihovna (ERA). ISBN 978-80-7366-091-8.
- [67] Rekuperácia v dome. Má vôbec zmysel? *Klima do domu* [online]. KLIMADO-DOMU.sk, 2021 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: Dostupné z URL: <<https://www.klimadodomu.sk/blog/category/rekuperacie/article/8462392db5b40559c272479550a0ff95.xhtml>>.
- [68] JIRINEC, Jakub a David ROT. The Control System for Heating of Small Buildings with Heat Recovery unit and Heat Pump. In: *2020 21st International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)* [online]. IEEE, 2020, 2020-10-19, s. 1-4 [cit. 2021-5-15]. ISBN 978-1-7281-9479-0. doi: 10.1109/EPE51172.2020.9269250, Dostupné z URL: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9269250>>.
- [69] Energy Efficient Window Attachments. *Energy.gov* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z URL: <<https://www.energy.gov/energysaver/energy-efficient-window-attachments>>.
- [70] WHITTEMORE, C. *The Science and Practice of Pig Production*. Blackwell Science, 1998. ISBN: 0632050861.
- [71] CURTIS, S. E. *Environmental Management in Animal Agriculture*. The Iowa State University Press, 1984. ISBN: 0813805562
- [72] HANSEN, Jens, Thomas NIELSEN a Henrik SCHIOLER. Sensor Fusion Using Dynamic Bayesian Networks in Livestock Production Buildings. In:

- 2006 International Conference on Computational Intelligence for Modelling Control and Automation and International Conference on Intelligent Agents Web Technologies and International Commerce (CIMCA'06)* [online]. IEEE, 2006, 2006, s. 215-215 [cit. 2021-5-15]. ISBN 0-7695-2731-0. Dostupné z: doi:10.1109/CIMCA.2006.194
- [73] SCHIPPERS, P. A. The rate of respiration of potato tubers during storage. 3. Relationships between rate of respiration, weight loss and other variables. *Potato Research* [online]. 1977, **20**(4), s. 321-329 [cit. 2021-5-16]. ISSN 0014-3065. doi: 10.1007/BF02362243, Dostupné z URL: <<http://link.springer.com/10.1007/BF02362243>>.
- [74] William H. Bohl, Nathan Oberg and Gale Kleinkopf, Variable frequency drive fan control for potato storage, Spudvine, pp. 1-2, November 2002.
- [75] SIEKLIICKI, Wiktor, Marek KOSCIUK a Stefan SIEKLIICKI. Mobile wireless measurement system for potatoes storage management. In: *3rd International Conference on Human System Interaction* [online]. IEEE, 2010, 2010, s. 363-368 [cit. 2021-5-15]. ISBN 978-1-4244-7560-5. doi:10.1109/HSI.2010.5514545, Dostupné z URL: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/5514545/>>.
- [76] THUY, Huynh Thi Thanh. *Heat stress in growing pigs*. Thesis (PhD). 2005. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z URL: <<https://edepot.wur.nl/121639>>.
- [77] MORRISON, S. R., H. HEITMAN, T. E. BOND a P. FINN-KELCEY. The influence of humidity on growth rate and feed utilization of swine. *International Journal of Biometeorology* [online]. 1966, 10(2), 163-168 [cit. 2021-5-15]. ISSN 0020-7128. doi: 10.1007/BF01426862, Dostupné z URL: <<http://link.springer.com/10.1007/BF01426862>>.
- [78] *Standard 62.1 user's manual: based on ANSI/ASHRAE standard 62.1-2016, ventilation for acceptable indoor air quality*. Atlanta: ASHRAE, 2016.
- [79] *Design of Ventilation Systems for Poultry and Livestock Shelters*, ASABE Stand, s. 1-19, 2009.
- [80] SPORTS HALL VENTILATION. *Menerga* [online]. Menerga d.o.o., 2020 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z URL: <<https://www.menerga-adria.com/energetics/ventilation-air-conditioning-according-type-building-space/sports-hall-ventilation/>>.

- [81] ARTUSO, Paola a Adriano SANTIANGELI. Energy solutions for sports facilities. *International Journal of Hydrogen Energy* [online]. 2008, 33(12), 3182-3187 [cit. 2021-5-16]. ISSN 03603199. doi:10.1016/j.ijhydene.2007.12.064, Dostupné z URL:
<<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360319908000177>>.
- [82] GRANDE, M.S., G. CAO, S.I TANABE, et al. Air Quality in Sport Facilities. *E3S Web of Conferences* [online]. 2019, 2019, 111(02023) [cit. 2021-5-15]. ISSN 2267-1242. doi:10.1051/e3sconf/201911102023, Dostupné z URL:
<https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/37/e3sconf_clima2019_02023.pdf>.

Zoznam symbolov a skratiek

C	Koncentrácia plynu v čase t	$[kgm^{-3}]$
C_a	Koncentrácia plynu v okolitom vzduchu	$[kgm^{-3}]$
C_i	Koncentrácia plynu vo vnútornom vzduchu	$[kgm^{-3}]$
C_0	Počiatočná koncentrácia plynu	$[kgm^{-3}]$
E	Množstvo vyprodukovaných emisií	$[kgm^{-3}]$
f	Frekvencia	$[Hz]$
n	Intenzita vetrania	$[h^{-1}]$
Q	Intenzita výmeny vzduchu	$[m^3h^{-1}]$
RH	Relatívna vlhkosť	$[\%]$
S_{RH}	Výstupný signál relatívnej vlhkosti	$[-]$
S_T	Výstupný signál teploty	$[-]$
t	Čas	$[h]$
t_{dp}	Teplota rosného bodu	$[^{\circ}C]$
T	Teplota	$[^{\circ}C]$
p_d''	Čiastočný tlak nasýtenej vodnej páry	$[hPa]$
p_d	Čiastočný tlak vodnej páry	$[hPa]$
V	Objem miestnosti	$[m^3]$
$^{\circ}C$	Stupeň Celzia	
ACID	Nedeliteľnosť, validita, izolácia, trvanlivosť – Atomicity, Consistency, Isolation and Durability (vlastnosti transakcie databázy)	
AJAX	Asynchrónny Javascript a XML – Asynchronous Javascript and XML	
ASHRAE	Americká spoločnosť pre kúrenie, chladenie a klimatizáciu – The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers	
ATP	Adenozíntrifosfát	

CO₂	Oxid uhličitý
CIB	Spoločná inštalačná zbernica – Common Installation Bus
ČR	Česká republika
LD	Jazyk reléových schém – Ladder Diagram language
EPS	Elektrická požiarne signalizácia
EZS	Elektronická zabezpečovacia signalizácia
FBD	Jazyk funkčných blokov – Function Block Diagram language
HVAC	Kúrenie, ventilácia a klimatizácia – Heating, Ventilation and Air Conditioning
IANA	Úrad pre internetové pridelené čísla – Internet Assigned Numbers Authority
IL	Jazyk inštrukcií – Instruction List language
IoT	Internet vecí – Internet of Things
IP	Internetový protokol – Internet Protocol
IR	Infračervené – Infra Red
JSON	JavaScript Object Notation
M2M	Machine to Machine (komunikácia)
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
NDIR	Nedisperézne infračervené – Nondispersive Infrared
OID	Identifikátor objektu – Object Identifier
PIR	Pasívne infračervené – Passive Infrared
PLC	Programovateľný logický automat – Programmable Logic Controller
POU	Programové organizačné jednotky – Program Organisation Unit
ppm	Parts per million
PTF	Predkorneový slzný film – Precorneal Tear Film
QoS	Kvalita služby – Quality of Service

SBS	Syndróm nezdravých budov – Sick Building Syndrom
SMTP	Protokol jednoduchého prenosu pošty – Simple Mail Transfer Protocol
SQL	Structured Query Language
SSL	Secure Sockets Layer
ST	Jazyk štruktúrovaného textu – Structured Text language
TCP	Protokol o kontrole prenosu – Transmission Control Protocol
Teco	Tesla Kolín
TLS	Zabezpečenie transportnej vrstvy – Transport Layer Security
USA	Spojené štáty americké – United States of America
UTF-8	Transformačný formát Unicode (8-bitový) – Unicode Transformation Format (8-Bit)
UTP	Netienená krútená dvojlinka – Unshielded Twisted Pair (sieťová kabeľáž)
VM	Virtuálny počítač – Virtual Machine
VOC	Prchavé organické zlúčeniny – Volatile Organic Compound
XML	Extensible Markup Language

A Namerané hodnoty snímačov a prístroja Testo 535 CO₂

Tab. A.1: Porovnané namerané hodnoty snímačov a prístroja Testo 535 CO₂.

Čas [min]	Oxid uhličitý [ppm]			
	Snímač 1 (9CF6)	Testo 535 CO ₂	Snímač 2 (9CF5)	Testo 535 CO ₂
1	423	442	555	562
2	427	438	563	546
3	429	434	568	579
4	429	433	584	594
5	430	436	582	572
6	432	437	589	549
7	428	435	593	594
8	426	434	612	564
9	424	436	595	592
10	425	434	598	572
11	426	433	530	479
12	423	434	518	496
13	422	433	525	497
14	425	436	524	497
15	426	440	529	498
16	424	436	534	501
17	423	438	534	495
18	422	437	546	508
19	433	435	540	511
20	454	454	541	511
21	441	442	545	515
22	428	443	566	514
23	433	445	550	514
24	432	445	558	534
25	438	448	559	524
26	434	445	562	518
27	437	444	552	509
28	430	446	558	510
29	442	449	565	510
30	447	455	556	508

B Namerané hodnoty snímačov a meteostanice Netatmo

Tab. B.1: Porovnané namerané hodnoty snímačov a meteostanice Netatmo.

Čas [min]	Oxid uhličitý [ppm]			Relatívna vlhkosť [%]			Teplota [°C]		
	Snímač 1 (9CF6)	Snímač 2 (9CF5)	Meteostanica NETATMO	Snímač 1 (9CF6)	Snímač 2 (9CF5)	Meteostanica NETATMO	Snímač 1 (9CF6)	Snímač 2 (9CF5)	Meteostanica NETATMO
15:45:00	558	540	603	29	27	39,4	28,5	29,8	26,1
15:55:00	562	555	641	28	26	38,6	28,9	30,6	26,1
16:05:00	564	561	609	28	25	38,5	29,2	31,1	26,1
16:15:00	561	545	594	28	25	38,5	29,4	31,4	26,1
16:25:00	551	544	591	27	25	38,5	29,6	31,6	26,1
16:35:00	557	539	586	27	24	38,5	29,7	31,7	26,0
16:45:00	555	545	585	27	24	38,5	29,8	31,8	26,0
16:55:00	551	530	578	27	24	38,5	29,8	31,8	26,0
17:05:00	543	532	566	26	24	38,5	29,9	31,7	26,0
17:15:00	556	538	572	27	24	38,5	29,9	31,8	25,9
17:25:00	564	546	590	27	24	38,5	29,9	31,8	26,0
17:35:00	578	550	592	26	24	38,5	30	31,9	26,0
17:45:00	597	585	627	27	24	38,5	30	32	26,0
17:55:00	597	577	660	27	24	39,1	30,1	32,1	26,1
18:05:00	610	596	689	27	24	38,5	30,2	32,3	26,2
18:15:00	606	597	684	27	24	38,5	30,3	32,4	26,2
18:25:00	608	582	677	27	24	38,5	30,3	32,4	26,2
18:35:00	603	584	691	27	24	38,5	30,3	32,4	26,2
18:45:00	596	579	670	27	24	38,5	30,2	32,3	26,1
18:55:00	598	578	648	27	24	38,5	30,1	32,3	26,1
19:05:00	587	572	636	27	24	38,5	30,1	32,2	26,0
19:15:00	587	574	646	27	24	38,5	30	32,1	26,0
19:25:00	580	565	635	27	24	38,5	30	32,1	25,9
19:35:00	576	559	627	27	24	38,5	29,9	32,1	25,9
19:45:00	575	557	610	26	24	38,5	29,9	32,1	25,9
19:55:00	564	556	614	26	24	38,5	29,9	32,1	25,8
20:05:00	557	554	613	26	24	38,5	29,9	32,1	25,8
20:15:00	549	550	588	26	24	38,5	29,8	32	25,8
20:25:00	550	539	591	26	24	38,5	29,8	32	25,8
20:35:00	545	535	579	26	24	38,5	29,8	32	25,8

Tab. B.2: Porovnané namerané hodnoty snímačov a meteostanice Netatmo.

Čas [min]	Oxid uhličitý [ppm]			Relatívna vlhkosť [%]			Teplota [°C]		
	Snímač 1 (9CF6)	Snímač 2 (9CF5)	Meteostanica NETATMO	Snímač 1 (9CF6)	Snímač 2 (9CF5)	Meteostanica NETATMO	Snímač 1 (9CF6)	Snímač 2 (9CF5)	Meteostanica NETATMO
20:45:00	542	539	589	26	23	38,5	29,8	32,1	25,7
20:55:00	542	528	587	26	23	38,5	29,7	32	25,7
21:05:00	536	537	573	26	23	38,5	29,7	32	25,7
21:15:00	542	530	567	26	23	38,5	29,7	32	25,7
21:25:00	536	517	559	26	23	38,5	29,7	32	25,7
21:35:00	529	521	537	26	23	38,5	29,7	31,9	25,7
21:45:00	521	526	540	26	23	38,5	29,7	31,9	25,6
21:55:00	521	506	551	26	23	38,5	29,6	31,9	25,6
22:05:00	520	511	537	26	23	38,5	29,6	31,9	25,6
22:15:00	534	505	544	26	23	38,5	29,6	31,9	25,6
22:25:00	526	506	540	26	23	38,5	29,6	31,8	25,6
22:35:00	517	510	538	26	23	38,5	29,6	31,8	25,6
22:45:00	523	508	530	26	23	38,5	29,6	31,8	25,6
22:55:00	513	507	538	26	23	38,5	29,6	31,8	25,6
23:05:00	515	516	554	26	23	38,5	29,5	31,8	25,6
23:15:00	508	502	536	26	23	38,5	29,5	31,8	25,6
23:25:00	512	506	532	26	23	38,5	29,6	31,8	25,6
23:35:00	510	511	542	26	23	38,5	29,6	31,8	25,5
23:45:00	516	499	579	26	23	38,5	29,5	31,8	25,5
23:55:00	507	503	516	26	23	38,5	29,5	31,8	25,5
0:05:00	516	499	526	26	24	38,1	29,5	31,8	25,5
0:15:00	505	504	518	26	24	38,1	29,5	31,7	25,5
0:25:00	509	497	513	26	24	38,1	29,5	31,7	25,5
0:35:00	506	495	524	26	24	38,1	29,5	31,7	25,5
0:45:00	504	505	519	26	24	38,1	29,5	31,7	25,5
0:55:00	514	500	522	26	24	38,1	29,5	31,7	25,5
1:05:00	507	500	514	26	24	38,1	29,5	31,7	25,5
1:15:00	513	503	509	26	24	38,1	29,5	31,7	25,5
1:25:00	510	494	516	26	24	38,1	29,5	31,7	25,5
1:35:00	506	498	511	26	24	38,1	29,5	31,6	25,5

Ostatné namerané hodnoty snímačmi a meteostanice Netatmo sa nachádzajú v elektronickej prílohe v zložke "Porovnanie_Snimacov".

C Obsah elektronickej prílohy

Súčasťou praktickej časti tejto diplomovej práce sú jednotlivé skripty. Tieto skripty sú napísané v softvéroch Python a Mosaic (verzia "Mosaic 2020.2") . Daná príloha obsahuje skripty písané v softvéri Python s koncovkou *.py a skript (program) písaný v softvéri Mosaic má koncovku *.piz. Na správne spustenie programu v Mosaicu je potrebné si prečítať návod "readme.txt". Tento program sa nahráva do PLC a je kompatibilný s rôznymi druhmi PLC od spoločnosti Teco a.s.. Skripty písané v softvéri Python musia byť spustené na serveri. K správne chodu týchto skriptov je potrebné mať na danom serveri nainštalovanú databázu a MQTT broker. V podstate je jedno aká databáza a MQTT broker sa zvolí, ale potom je potreba upraviť jednotlivé skripty. Okrem toho elektronická príloha obsahuje namerané dáta z jednotlivých snímačov, ktoré sú rozdelené do priečinkov podľa meraných parametrov a porovnanie nameraných hodnôt s inými presnejšími prístrojmi. Elektronická príloha je vo formáte *.zip.

```
xbucko01_prilohy.....koreňový adresár priloženého archívu
├── initialize_DB_Tables.py.....skript na vytvorenie tabuliek v databáze
├── mqtt_Listen_Sensor_Data.py.....naprogramovaný MQTT Broker
├── Store_Sensor_Data_to_DB.py.....skript na ukladanie hodnôt do databázy
├── Namerane_Data.....excelovské súbory s nameranými hodnotami
│   ├── Sensor1
│   │   ├── Koncentracia_CO2
│   │   ├── Relativna_Vlhkost
│   │   └── Teplota
│   ├── Sensor2
│   │   ├── Koncentracia_CO2
│   │   ├── Relativna_Vlhkost
│   │   └── Teplota
├── Porovnanie_Snimacov ..... excelovské súbory s porovnanými hodnotami
│   ├── Meteostanica_NETATMO
│   │   ├── Porovnanie_CO2
│   │   ├── Porovnanie_RH
│   │   └── Porovnanie_Teplota
│   ├── TEST0_535_CO2
│   │   └── Porovnanie_CO2
├── xbucko01_foxtrot.piz.....program nahratý do PLC
└── readme.txt.....popis spustenia programu PLC
```